

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

Modelo de Sistema de Inferência Difuso para Auxílio da Resposta ao Risco em Projectos

Afonso Seara Paixão

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa para obtenção do grau de mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Doutora Alexandra Tenera

Lisboa
2010

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação foi um enorme desafio. Foi um processo que exigiu tanto em tempo como em persistência. Ao dedicar-me a este projecto apercebi-me do desenvolvimento a que fui sujeito, tanto a nível pessoal como académico, profissional e até social.

Muitas vezes, temi a minha capacidade de perseverança para terminar este desafio. Agora que chego ao fim, não quero deixar de agradecer às pessoas que me apoiaram e pacientemente me motivaram para concluir este trabalho.

À Professora Dr.^a Alexandra Tenera o meu muito obrigado, pelas inúmeras reuniões ao longo do último ano, e pela indicação e cedência de diversos materiais e obras, que me guiaram neste trabalho, e a disponibilidade que sempre, sem excepção, demonstrou.

Agradeço também à Professora Dr.^a Isabel Nunes que, sem saber, me inspirou com o exemplo da sua tese de doutoramento.

Aos meus amigos, em especial ao Gonçalo Aleixo, pelas boas ideias e ao Afonso Dourado, pelo exemplo que foi e será. Agradeço também ao Pedro Carrilho, “Passarinho” Mascarenhas Lemos, Joana Pereira, Diogo Aurélio, Daniel Sequeira, Patrícia Yañez e outros, pelas noites de estudo que conscientemente me motivaram para terminar este trabalho.

À minha irmã Ana querida, por me ter ajudado na fase mais difícil. Aos meus Pais e irmã Maria por sempre me lembrarem que este trabalho era possível.

Por fim à Carlota, pela força, pela companhia e sorrisos.

RESUMO

Nesta dissertação propõe-se um modelo exploratório com base na lógica difusa para a determinação da melhor resposta estratégica a aplicar face a um determinado risco previamente identificado presente no desenvolvimento das várias actividades de projectos de novos produtos. A concepção do sistema tem como base conceitos chave na gestão do risco em projectos, que podem ser de difícil avaliação através de aproximações quantitativas tradicionais, propondo-se como alternativa um Sistema de Inferência de Lógica Difusa (*Fuzzy Logic Inference System*, FLIS) em que se pretende desenhar soluções práticas, considerando sistemas complexos não lineares e com multi-factores, onde a razão humana e a informação imprecisa são relevantes.

A escolha do FLIS resulta de uma adaptação conveniente de *inputs* qualitativos e quantitativos, capazes de articular soluções de forma efectiva fornecendo uma análise quantitativa de apoio ao gestor de projectos na sua tomada de decisão, para assegurar e justificar a escolha de determinada estratégia para um certo risco.

Palavras-chave: Lógica Difusa, Conjuntos Difusos, Sistema de Inferência de Lógica Difusa, Gestão de Risco, Projectos de Desenvolvimento de Novos Produtos

ABSTRACT

In this dissertation an exploratory model is proposed based on fuzzy logic to determine the best strategic response facing a certain risk previously identified present in the several tasks in new product development projects. The design of a system that is based on key concepts of risk management, which may be difficult to measure using traditional quantitative approaches, the work, proposes as an alternative a *Fuzzy Logic Inference System* (FLIS) that intends to design practical solutions to complex multifactor and non-linear systems where human reasoning, expert knowledge or imprecise information can be relevant.

The choice of a FLIS results in a convenient use of qualitative and quantitative inputs, capable of articulating effective solutions, providing a quantitative analysis for supporting the decision of the project manager, to assure and justify the choosing of a proper strategy facing a certain risk.

Key words: Fuzzy Logic, Fuzzy Sets, Fuzzy Logic Inference System, Risk Management, New Product Development Projects,

ABREVIATURAS E SIGLAS

ISO – *Internacional Organization for Standardization*

PIB – Produto Interno Bruto

PMI – *Project Management Institute*

PMBOK – *Project Management Book of Knowledge*

FLIS – *Fuzzy Logic Inference System*

EI – Engenharia Industrial

IFSA - *International Fuzzy Systems Association*

SOFT - *Society for Fuzzy Theory and Systems*

NAFIPS - *North American Fuzzy Information Processing Society*

EUSFLAT - *European Society for Fuzzy Logic and Technology*

EUROFUSE - *Working Group on Fuzzy Sets of EURO*

MADM - *Multiple Attribute Decision Making*

MODM - *Multiple Objective Decision Making*

GUI – *Grafical Users Interface*

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objectivos do Estudo.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação	5
2. Introdução à Lógica Difusa	5
2.1 Aplicação da Lógica Difusa em Engenharia Industrial	7
2.2 Teoria de Conjuntos Difusos e FLIS	9
2.3 Conceitos de Conjuntos Difusos	26
2.3.1 Conjuntos Difusos	26
2.3.2 Conjuntos <i>Singleton</i>	28
2.3.3 Conjuntos α -cut.....	29
2.4 Conceitos de Números Difusos	30
2.4.1 Intervalos Difusos.....	30
2.4.2 Números Difusos	31
2.4.3 Aritmética de Intervalos	37
2.4.4 Aritmética Difusa	39
3. Modelo Proposto de Sistema de Inferência de Lógica Difusa – FLIS-RM.....	46
3.1 Lógica de Concepção do Modelo	46
3.2 Variáveis de Entrada, Saída e Funções de Pertença	48
3.3 Regras de Inferência Difusas Propostas	54
3.4 Informatização do Modelo Proposto	58

4. Aplicação do FLIS-RM	61
4.1 Especificação de Variáveis de Entrada, Saída e Funções de Pertença	62
4.2 Definição das Regras de Inferência Difusas	70
4.3 Simulação do Modelo e Discussão de Resultados	73
5. Conclusões e Comentários Finais	79
Referências Bibliográficas	81
Anexo I	87
Anexo II	89
Anexo III	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo da metodologia da dissertação	3
Figura 2 – Alguns temas fundamentais relacionados com teoria difusa	7
Figura 3 – Exemplo “altura de um individuo” na forma de função de pertença discreta e contínua	10
Figura 4– Funções de Pertença Típicas	13
Figura 5 – Temperatura representada segundo um conjunto clássico e um conjunto difuso ...	14
Figura 6 – Avaliação de proposições para o exemplo temperatura representado por um conjunto difuso	18
Figura 7 – Proposição baixa <u>OR</u> média	18
Figura 8 - Proposição baixa <u>AND</u> média	19
Figura 9 – Proposição <u>NOT</u> média	19
Figura 10 - Conjuntos difusos que definem <i>output</i>	22
Figura 11 - Agregação e <i>defuzzificação</i>	23
Figura 12 – Sistema de Inferência de Lógica Difusa (FLIS).....	25
Figura 13 - Função de pertença do crescimento “Médio” percentual do PIB (exemplo).....	26
Figura 14 – Componentes de um conjunto difuso	27
Figura 15 – Exemplo de um conjunto <i>singleton</i>	28
Figura 16 – Exemplo de conjunto α -cut.....	29
Figura 17 – Exemplo de um intervalo com $A = [a_1, a_3]$	30
Figura 18 – Ilustração gráfica de um número difuso $A = (a_1, a_2, a_3)$	31
Figura 19 - α -cut de um número difuso: $\alpha' < \alpha \rightarrow A_{\alpha} \subset A_{\alpha'}$	32
Figura 20 - Número difuso triangular $A = (a_1, a_2, a_3)$	34
Figura 21 - Intervalo $\alpha=0.5$ cut do número difuso triangular $A = (-5,-1,1)$	36
Figura 22 - Números difusos triangulares A e B	42
Figura 23 - Soma A (+) B de números difusos triangulares.....	42
Figura 24 - Subtracção A (-) B de números difusos triangulares	43
Figura 25 - Multiplicação A()B de dois números difusos triangulares	45
Figura 26 – Métodos para modelar o risco	47
Figura 27 - Esquema da gestão do risco	49
Figura 28 – Regra difusa da variável de saída “phi”	56

Figura 29 - Exemplo na construção da base de regras	57
Figura 30 – GUI’s propostos	58
Figura 31 - Gráfico exemplificativo da relação <i>input-output</i>	60
Figura 32 - Código exemplificativo do MATLAB.....	60
Figura 33 - Definição de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> no Modelo de Sistema de Inferência Difuso.....	64
Figura 34 - Nomenclatura das funções de pertença.....	65
Figura 35 - Funções de pertença para a variável <i>cost</i>	66
Figura 36 - Funções de pertença para a variável <i>resources</i>	67
Figura 37 - Funções de pertença para a variável <i>impact</i>	68
Figura 38 - Funções de pertença para a variável <i>acceptance</i>	69
Figura 39 - Parcial da Base de Regras do Modelo FLIS-RM.....	72
Figura 40 - Resultado de uma aplicação do Modelo FLIS-RM	74
Figura 41 - Mapa de superfície <i>resources versus impact versus acceptance</i>	76
Figura 42 - Mapa de superfície <i>cost versus impact versus acceptance</i>	76
Figura 43 - Mapa de superfície <i>resources versus cost versus acceptance</i>	77
Figura 44 - Mapa de superfície <i>cost versus impact versus avoidance</i>	77
Figura 45 - Mapa de superfície <i>cost versus resources versus avoidance</i>	78
Figura 46 - Mapa de superfície <i>resources versus impact versus avoidance</i>	78

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1 – Classificação das classes da variável PIB.....	12
Tabela 2 – Operadores de lógica clássica.....	16
Tabela 3 – Operadores de lógica difusa	17
Tabela 4 - Estratégias de resposta genéricas a oportunidades e ameaças.....	52
Tabela 5 - Cenário óptimo de correlação entre as variáveis de decisão	71

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O mercado actual sofre constantes mudanças e é altamente competitivo, pelo que as empresas e organizações são obrigadas a adaptar o seu *core business*. Praticamente todas as empresas de alta tecnologia reconhecem a necessidade de inovar (Knight, 1967) de forma a garantir a sua sustentabilidade (Qin e Wang, 2006). Na verdade estas empresas têm que demonstrar uma rápida capacidade de resposta e flexibilidade na inovação de produtos (Teece *et al.*, 1997; Eisenhardt e Martin, 2000). Com efeito esperar que novos produtos se tornem disponíveis no mercado, implica perder lucros (Gardner e Buzacott, 1999).

Assim, o único caminho para as empresas criarem e/ou salvaguardarem vantagem competitiva consiste em adoptar uma gestão activa no processo de inovação, disponibilizando, de uma forma eficiente, inovações (Teece *et al.*, 1997; Cormican e O'Sullivan, 2004; Baccarini *et al.*, 2004).

Contudo, a incerteza é um factor garantido quando as empresas tentam desenvolver inovações. Na verdade, se mesmo em ambientes com elevado grau de certeza as empresas cometem grandes erros de gestão, em ambientes de grande incerteza, como é o de desenvolvimento de inovações, esse risco é multiplicado.

Para evitar erros ou más decisões, que podem implicar custos elevados para as empresas e afectar os seus objectivos, é imperativo realizar uma análise e, posteriormente, um plano de gestão que procure lidar e responder aos referidos riscos (Maylor, 2006).

É que, apesar das empresas reconhecerem os elevados riscos que existem no desenvolvimento de novos produtos, pouco esforço tem sido feito para desenvolver modelos de validação empíricos, métricos e ferramentas de avaliação e gestão desses riscos, estando ainda pouco claras quais as metodologias a adoptar na gestão e desenvolvimento de novos produtos (Bóer, 2002; Keizer e Halman, 2007; Keizer e Vos, 2003).

No contexto em que é cada vez mais importante para as empresas de alta tecnologia gerirem com alguma coerência o risco no desenvolvimento de novos produtos – o que até hoje tem sido feito de uma forma intuitiva – este trabalho providencia um modelo de inferência difuso que tem, precisamente, por objectivo o apoio à decisão na fase em que é necessário adoptar uma de varias estratégias, para fazer face a um determinado risco previamente identificado.

1.2 Objectivo do Estudo

O objectivo a que esta dissertação se propõe tem como base a criação de um modelo de apoio ao gestor de projecto na tomada de decisão quando este se encontra face a cenários que envolvem um elevado grau de incerteza. O principal objectivo do trabalho proposto foi criar um modelo de sistema de avaliação, com base na lógica difusa e na teoria de conjuntos difusos, de forma a quantificar e justificar matematicamente a escolha de determinada estratégia para fazer face a um determinado risco, seja este positivo ou negativo. O modelo proposto para este fim transforma-se, assim, numa ferramenta complementar do gestor de projectos para o auxiliar na tomada de decisão referente à melhor estratégia a adoptar quando existe a necessidade de mitigar determinado risco no decorrer das várias actividades de um projecto.

1.3 Metodologia de Investigação

Esta dissertação procura contribuir para uma compreensão mais assertiva e aprofundada da lógica difusa e da teoria de conjuntos e números difusos, revelando a sua mais valia na modelação de sistemas de inferência de lógica difusa que procuram moldar a gestão do risco, mais concretamente determinar uma análise que englobe soluções eficientes para auxílio da equipa de gestão na resposta ao risco que é inerente às várias actividades de um projecto.

Assim sendo, a metodologia da dissertação pode ser resumida na Figura 1 que se segue.

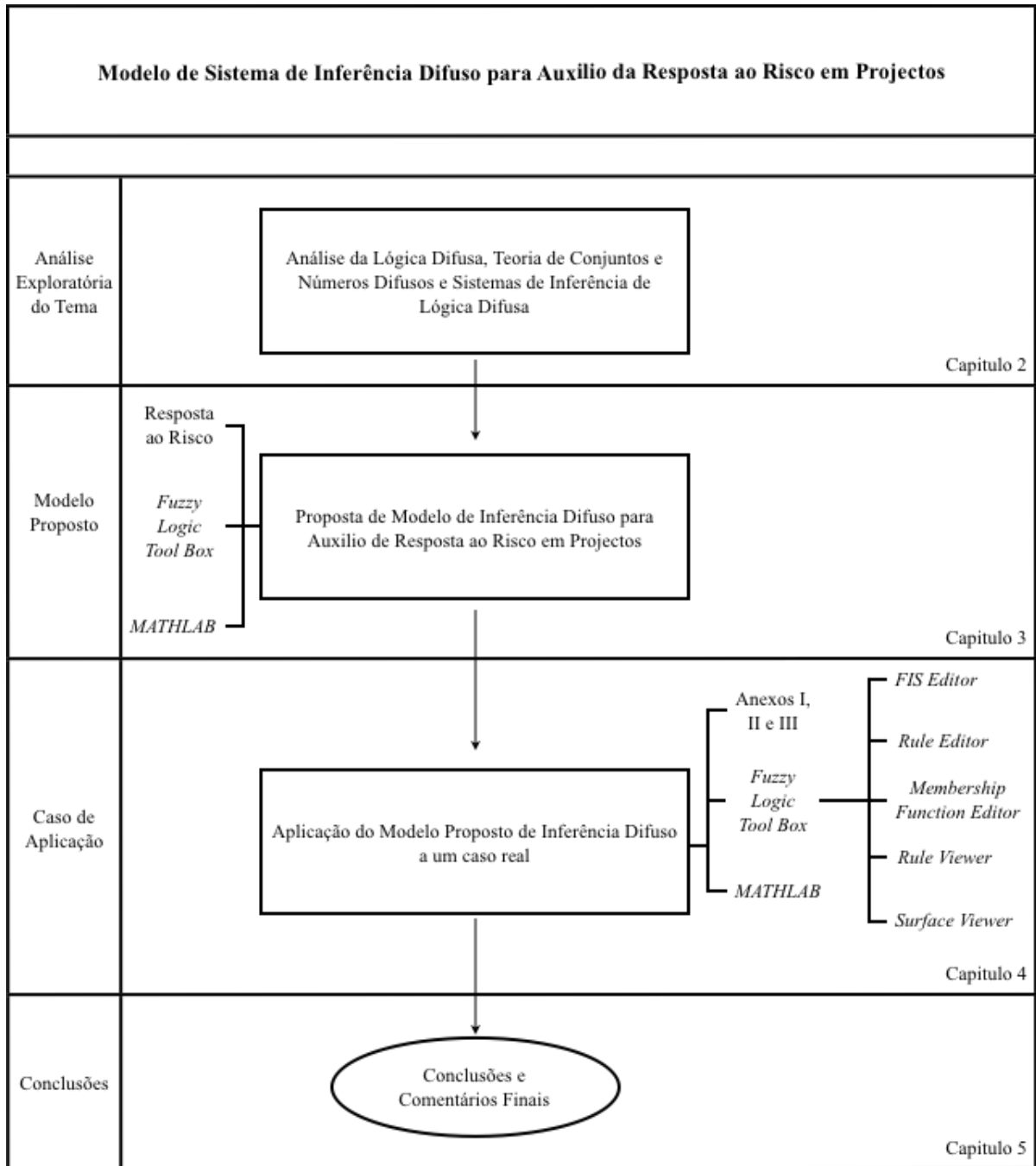


Figura 1 – Resumo da metodologia da dissertação

Como podemos constatar esta dissertação seguiu 4 fases distintas.

Inicialmente fez-se uma análise exploratória do tema. Considerando um levantamento exaustivo e rigoroso, determinámos uma base teórica essencial para fundamentar e caracterizar o modelo a que nos cometemos nesta dissertação.

Numa segunda fase propomos um modelo em que adaptamos as especificidades do modelo de inferência no âmbito onde foram identificadas necessidades, ou seja, na resposta ao risco inerente às várias actividades de um projecto de desenvolvimento de novos produtos. Esta fase foi muito importante porque veio permitir uma articulação de todo o conhecimento adquirido até aqui e principalmente transmitir uma perspectiva muito abrangente das várias áreas a ter em conta para a construção de um modelo de sistema de inferência difuso. Introduzimos também a ferramenta informática estabelecida para o desenvolvimento do modelo. Foi importante compreender todas as potencialidades desta ferramenta também para conseguirmos criticar de uma forma construtiva as limitações do nosso modelo.

Com isto numa terceira fase aplicámos o modelo a um caso concreto do mundo real. Com a ajuda dos vários gráficos de interface disponibilizados pela ferramenta em questão, testámos o modelo num caso real de uma empresa Portuguesa que faz o desenvolvimento, a produção, e a comercialização de produtos e serviços na indústria fotovoltaica. Para isto estabelecemos *inputs* fornecidos pela equipa de gestão altamente qualificada da empresa em questão. Posteriormente estes *inputs* foram traduzidos para conjuntos difusos (*fuzzificação*), com base na teoria desenvolvida, e introduzidos no modelo proposto de sistema de inferência. Sequencialmente e uma vez obtidos os *outputs*, traduzidos por uma base de regras complexa de inferência difusa, estes valores foram *defuzzificados* segundo métodos concretos e traduzidos em resultados finais que foram depois discutidos.

Numa quarta e última fase são determinadas conclusões e são feitas algumas críticas construtivas no campo de acção da teoria examinada e aplicabilidade das ferramentas utilizadas.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação foi construída com base em 5 capítulos principais. Inicialmente após a revisão de inúmeros artigos, livros e manuais foi resumida uma base teórica sólida relativa à lógica difusa, teoria de conjuntos difusos e à forma como é feita as aplicações destes conceitos teóricos na construção de um FLIS. Ainda no segundo capítulo aprofundamos e dissecamos qualquer conceito difuso essencial para a compreensão de operações e vários termos necessários à construção do modelo de inferência difuso proposto neste trabalho. O terceiro capítulo introduz o modelo proposto de sistema de inferência de lógica difusa com base nos conceitos explorados no capítulo 2 e numa fase particular da gestão do risco, a resposta ao risco fazendo um especial enfoque na forma essencial em como esta fase contribui com vários conceitos que serão integrados no modelo proposto neste trabalho. Salienta-se ainda que, neste capítulo à medida que fomos desenvolvendo o modelo, fomos adquirindo, através de uma análise exaustiva, grande experiência e uma percepção das potencialidades e limitações da ferramenta escolhida. O quarto capítulo apresenta o caso de aplicação do modelo proposto que tem por objectivo auxiliar o gestor de projectos à tomada de decisão face a determinado risco. Ainda no quarto capítulo sistematiza-se os resultados do modelo proposto aplicado ao caso concreto real e discute-se os mesmos. Por fim o quinto e último capítulo verifica as conclusões e alguns comentários finais e sugestões para futura investigação na área.

2. INTRODUÇÃO À LÓGICA DIFUSA

De acordo com Nunes (2002), a lógica difusa tem por objectivo, contrariamente aos sistemas lógicos convencionais, modelar o modo de raciocínio impreciso, característico dos seres humanos, o qual desempenha um papel essencial na capacidade humana de tomar decisões racionais num ambiente de incerteza e imprecisão. Aguiar (1999) relata também que a lógica difusa é um conjunto de métodos baseados em conceitos difusos e em operações difusas, que possibilitam modelar sistemas de forma realista e flexível, capaz de capturar, em modelos matemáticos, conceitos intuitivos.

Existem situações onde é natural lidar com a incerteza através da lógica difusa, casos em que está inerente a imprecisão de conceitos que envolvam a percepção da razão humana e

linguagem natural. No dia a dia, surgem inúmeras questões às quais nem sempre a resposta pode ser traduzida simplesmente por sim ou não. A incerteza pode manifestar-se de diversas formas: informação incompleta, informação conflituosa, imprecisão.

Tah e Carr (2000) referem que os conjuntos difusos ou nebulosos foram propostos inicialmente por Lukasiewicz em 1920, quando este desenvolveu um sistema onde era possível caracterizar uma determinada afirmação não somente como certa ou errada, mas podendo ser parcialmente certa e parcialmente errada.

A lógica difusa centra-se na quantificação e racionalização de termos vagos (termos que não estão claros nem precisos) que aparecem na linguagem natural. Na lógica difusa estes termos difusos ou nebulosos, são referidos como variáveis linguísticas.

As variáveis linguísticas são outro conceito nos conjuntos difusos. As variáveis (temperatura, altura, crescimento) tomam valores linguísticos, tais como: baixo, médio, alto; podendo ser afectadas por transformadores tais como: muito, pouco, extremamente, e todos estes elementos a uma função de pertença.

As variáveis são codificadas para cada conjunto difuso, identificando o grau de pertença para cada um deles. No entanto, para nos familiarizarmos com estes e outros conceitos da teoria difusa vamos fazer, nos próximos capítulos, uma abordagem sólida à teoria de conjunto difusos e aos vários desafios para a sua aplicação. De qualquer modo antes de explorarmos estes conceitos, fazemos uma breve revisão as várias aplicações que a lógica difusa tem tido em Engenharia Industrial (EI) num esforço por ganhar uma melhor visão do que é a importância da lógica de conjuntos difusos em EI.

2.1 Aplicação da Lógica Difusa em Engenharia Industrial

Segundo Kahraman *et al* (2006), tem existido, ao longo dos anos, várias aplicações e implementações de sucesso de conjuntos difusos em EI. Com isto, a teoria envolvente aos conjuntos difusos foi já reconhecida como uma ferramenta muito importante na modelação de problemas. O uso da teoria de conjuntos difusos como uma metodologia para modelar e analisar sistemas de decisão tem particular interesse para investigadores em EI devido à capacidade que a teoria de conjuntos difusos tem em modelar sistemas, quantitativamente e qualitativamente, que são vagos e que envolvem imprecisão.

Existem muitas associações nacionais e internacionais e sociedades que suportam o desenvolvimento da teoria difusa. A *International Fuzzy Systems Association* (IFSA) é uma organização mundial dedicada ao apoio, desenvolvimento e promoção de temas fundamentais sobre a teoria difusa relacionados com:

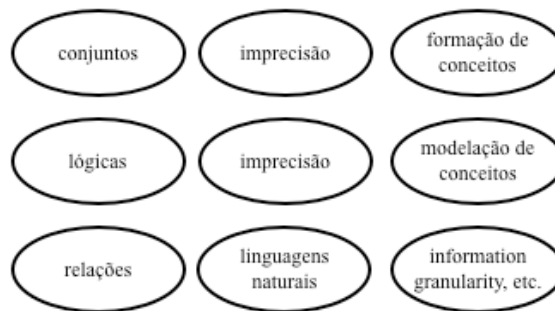


Figura 2 – Alguns temas fundamentais relacionados com teoria difusa

Promove também as suas aplicações em modelação de sistemas, análise de sistemas, diagnósticos, antecipação e controlo em sistemas de suporte à decisão na gestão e administração de organizações humanas bem como em sistemas electromecânicos de produção ou processos em indústrias.

O *IFSA* organiza e incita a participação em sessões de discussão aberta sobre quais devem ser as futuras directrizes e reestruturações da teoria difusa em congressos que organiza anualmente. Além disso, o *IFSA* publica um dos jornais mais conceituados no meio, o *International Journal of Fuzzy Sets and Systems*.

No Japão existe, desde 1989, a *Society for Fuzzy Theory and Systems (SOFT)*. A *SOFT* publica um jornal bimensal.

A *North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS)* foi fundada em 1981 como a primeira sociedade norte americana e tem como objectivo ajudar e incitar o desenvolvimento de conjuntos difusos e tecnologias relacionadas para o benefício da humanidade.

A *Spanish Association of Fuzzy Logic and Technologies* promove e dá projecção aos métodos, técnicas e desenvolvimentos da lógica difusa e tecnologias relacionadas; estabelece relações com associações nacionais e internacionais com objectivos similares.

A *European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT)* foi estabelecida em 1998. O principal objectivo da EUSFLAT é representar a comunidade difusa europeia do IFSA.

A *Hungarian Fuzzy Society* existe, por exemplo, desde em 1998. A *EUROFUSE Working Group on Fuzzy Sets of EURO* foi estabelecida em 1975. O objectivo da EUROFUSE é a comunicação e promoção do conhecimento relativo à teoria dos conjuntos difusos, áreas relacionadas e as suas aplicações. Em 1985, o grupo constituiu-se como o “*European Chapter*” da IFSA.

Para todas estas e outras entidades colectivas, diversos autores têm contribuído para o seu desenvolvimento ao longo dos anos. Seguem algumas bibliografias com grande relevância nas várias áreas da Engenharia Industrial.

Gaines e Kohout (1977), Kandel e Yager (1979), Kandel (1986), e Kaufmann e Gupta (1988) demonstram a aplicação da teoria difusa de uma forma geral. As bibliografias de Zimmerman (1983), Chen e Hwang (1992) e Lai e Hwang (1994) analisam a literatura existente de conjuntos difusos aplicados à investigação operacional, *multiple attribute decision making* difuso (MADM Difuso) e *multiple objective decision making* difuso (MODM Difuso) respectivamente. Maier e Sherif (1985) estudaram a literatura existente sobre controladores difusos industriais e providenciam as aplicações teóricas sobre conjuntos difusos para imensas áreas, tais como, tomada de decisão, sistemas económicos, engenharia e investigação

operacional. Karwowski e Evans (1986) identificaram a potencialidade da teoria de conjuntos difusos aplicada a outras áreas da Engenharia Industrial, tais como, desenvolvimento de novos produtos, localização de plantas e *layout*, calendarização da produção e controlo, gestão de inventário, qualidade e análise de custo-benefício. No seu livro, Evans *et al.* (1989) combinam contribuições de peritos de renome sobre vários tópicos como: técnicas tradicionais em Engenharia Industrial; ergonomia; engenharia da segurança; medição de desempenho humano; sistemas homem-máquina e metodologias difusas. Mais tarde, Klir and Yuan (1995) e Zimmermann (1996) apresentam uma recessão crítica das aplicações da teoria de conjuntos difusos e lógica difusa. A revisão de alguns destes livros e artigos foram preponderantes para apoiar, justificar e desenvolver bases teóricas que permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

2.2 Teoria de Conjuntos Difusos e FLIS

Nos anos sessenta, Zadeh (1965) introduziu o conceito de conjunto difuso, quando observou a impossibilidade de modelar sistemas com fronteiras mal definidas segundo as abordagens matemáticas rígidas e precisas dos métodos clássicos, como, por exemplo, a teoria da probabilidade.

Na teoria de conjuntos clássica, um elemento pertence ou não a um dado conjunto, cujo valor lógico é: 1 se verdade, ou 0 se falso. Na teoria de conjuntos difusos, a pertença ou não de um elemento a um conjunto é indicada em vários graus, com valores compreendidos entre 0 e 1. Vejamos o exemplo da caracterização da altura de um homem. De acordo com a teoria de conjuntos clássica existe um nível preciso que define quando uma pessoa é “alta” ou “baixa”. Qualquer pessoa que tenha uma altura abaixo desse nível é considerada como “baixa”, independentemente da diferença com esse nível, que pode ser de dez centímetros ou um milímetro. Na teoria de conjuntos difusos, uma pessoa ser considerada “alta” ou “baixa” envolve graus de pertença.

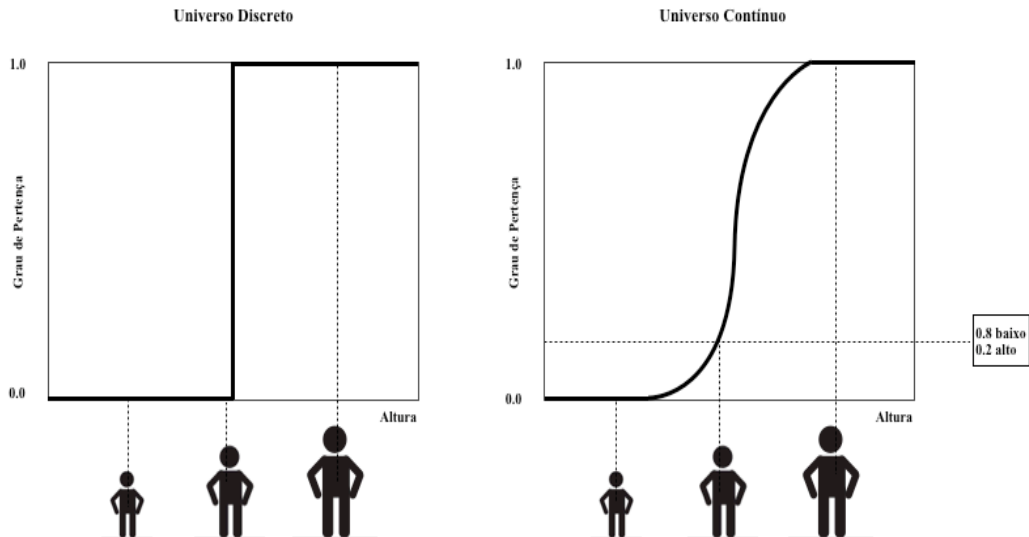


Figura 3 – Exemplo “altura de um indivíduo” na forma de função de pertença discreta e contínua

Fonte: MathWorks (2009)

Neste exemplo, de acordo com a teoria de conjuntos clássica o homem do meio seria considerado como “baixo”. Na teoria de conjuntos difusos o homem do meio pertence 80% ao conceito de pessoa “baixa” e 20% ao conceito de pessoa “alta”. Apesar de considerarmos conceitos imprecisos, com a teoria difusa ganhamos uma resposta mais precisa, ou seja, mais verdadeira no mundo real.

É importante salientar que os conjuntos clássicos podem ser classificados como casos particulares de conjuntos difusos, nos quais os graus de pertença são determinados por dois valores extremos: 0 e 1. (Bojadziev e Bojadziev, 2007; Klir e Yuan, 1995).

Através do exemplo também podemos determinar que a transição de funções bi-variáveis para funções multi-variáveis possibilita uma melhor caracterização de um elemento, com claras vantagens em termos de caracterização de casos reais e conceitos imprecisos.

Consequentemente, os conjuntos podem ser definidos em termos linguísticos vagos (de forma intermédia entre a verdade e a mentira). Estes e outros termos não podem ser definidos com significado relevante através de um único valor. No entanto, a lógica difusa fornece os meios pelos quais estes termos possam ser definidos formalmente através de uma lógica matemática.

Assim, a classificação intermédia é obtida a partir da definição de uma função de pertença para cada alternativa.

Por exemplo: a classificação se uma caixa está ou não cheia de areia. À pergunta “**Uma caixa está cheia de areia?**”, supondo que temos uma caixa totalmente cheia de areia, a resposta lógica seria “**sim**”. Retirando um grão de areia da caixa, à pergunta “**A caixa permanece cheia de areia?**” a resposta continua a ser “**sim**”. Continuemos a retirar grãos de areia e a fazer a pergunta. Quando já não houver mais grãos de areia, a caixa não estará mais cheia de areia e a resposta será “**não**”. Fica então a questão: “**Quando é que a resposta passou de “sim” para “não”?**”

Assim, temos de reconhecer que afirmações lógicas acerca da realidade não são absolutamente verdadeiras ou falsas mas têm, sim, um “certo grau de verdade”.

Quando vamos retirando grãos de areia à caixa, a afirmação de que está cheia de areia vai perdendo verdade. Quando já não restar areia, a verdade desaparece totalmente. Na lógica difusa, a verdade varia entre:

$$1 = (\text{“absolutamente certo”}) \text{ e } 0 = (\text{“absolutamente falso”}).$$

Se uma afirmação é verdadeira com um grau de 0.70, então a sua negação é verdade com um grau de 0.30.

Outro exemplo, uma classificação do Produto Interno Bruto (PIB) anual em Portugal. Supomos que esta variável de crescimento económico admite os valores: muito baixo, baixo, médio, alto ou muito alto. A determinação destas classes poderia ser dada por,

Tabela 1 – Classificação das classes da variável PIB

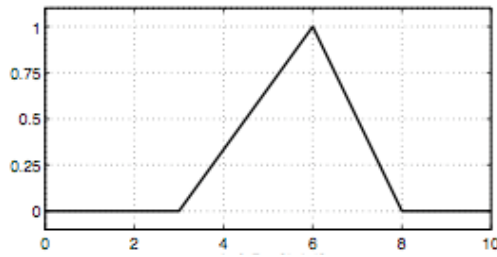
• Muito baixo	Crescimento menor do que 0,5%
• Baixo	Crescimento entre 0,6% e 1,7%
• Médio	Crescimento entre 1,8% e 4,2%
• Alto	Crescimento entre 4,3% e 6,1%
• Muito Alto	Crescimento acima de 6,1%

Consoante estas classes vemos que a classificação de um crescimento de 1,8% seria a mesma de um crescimento de 4,2%, isto é, um crescimento médio. Classificar de forma igual duas taxas de crescimento tão distintas pode revelar-se uma limitação muito importante e levar a conclusões dúbias. Claro que existe sempre a possibilidade de criar classes cada vez menos distantes entre si. Porém, existirá sempre a situação em que a taxa de crescimento passa de baixa para ser média de uma maneira abrupta, o que pode não corresponder à realidade.

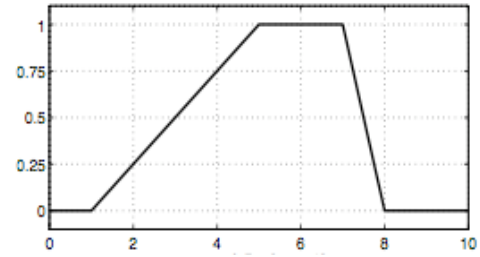
A abordagem difusa propõe a criação de uma função de pertença para cada categoria da variável de crescimento, na qual a sua classificação não é, por exemplo, meramente médio mas, sim, 70% médio e 30% alto, conseguindo assim registar de uma forma mais real a evolução gradativa que o crescimento vai sofrer.

Existe uma grande variedade de funções de pertença. As mais utilizadas e mais praticadas, como vamos ver mais à frente, são as funções de pertença triangulares, caracterizadas pela sua simplicidade e necessidade de pouca informação (Bojadziev e Bojadziev, 2007; McNeill e Thro, 1994). Contudo, existem outras funções tal como a trapezoidal, *gaussian*, sigmoidal e polinomial, onde o grau de complexidade é proporcional ao grau de informação contido em cada função.

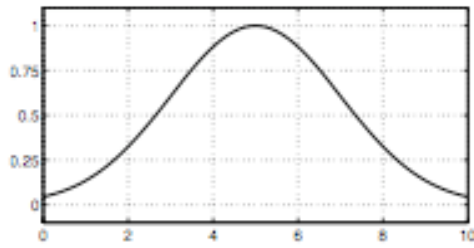
De seguida, na figura 4, apresentamos alguns exemplos de funções de pertença típicas.



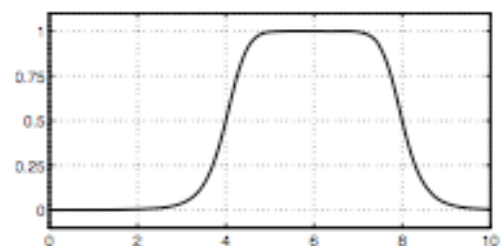
(a) – Função de pertinência triangular



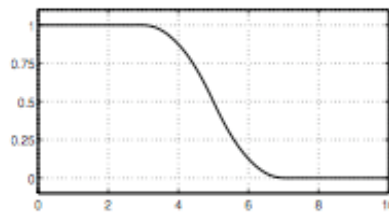
(b) – Função de pertinência trapezoidal



(c) – Função de Pertinência *Gaussiana*



(d) – Função de Pertinência *Generalized Bell*



(e) – Função de Pertinência Polinomial (esquerda)

Figura 4 – Funções de Pertinência Típicas

Fonte: MathWorks (2009)

Cada função de pertinência é aplicável a qualquer conjunto difuso para que a representação se aproxime o máximo da realidade. Muitas vezes cruzam-se várias funções de pertinência ou mesmo diferentes tipos de função num mesmo conjunto difuso (León e Reveiz, 2009).

Os conjuntos difusos compreendem uma propriedade importante que é a habilidade de expressar transições graduais de pertinência e não pertinência. Isto permite capturar o sentido de expressões em linguagem natural que são na maioria das vezes vagas. Conjuntos *Crisp*, isto é, conjuntos cuja função característica assume apenas os valores zero e um, não admitindo valores intermediários, são inadequados para este fim.

Assim, de acordo com D'Ávila (2008), desta definição podemos concluir que os conjuntos difusos traduzem de uma forma mais real o raciocínio de uma pessoa. Por exemplo, consideremos um conjunto de valores resultantes das temperaturas médias diárias, em graus Celsius, numa dada região. A figura 5, em baixo apresenta-os, segundo uma forma clássica e segundo a lógica de conjuntos difusos.

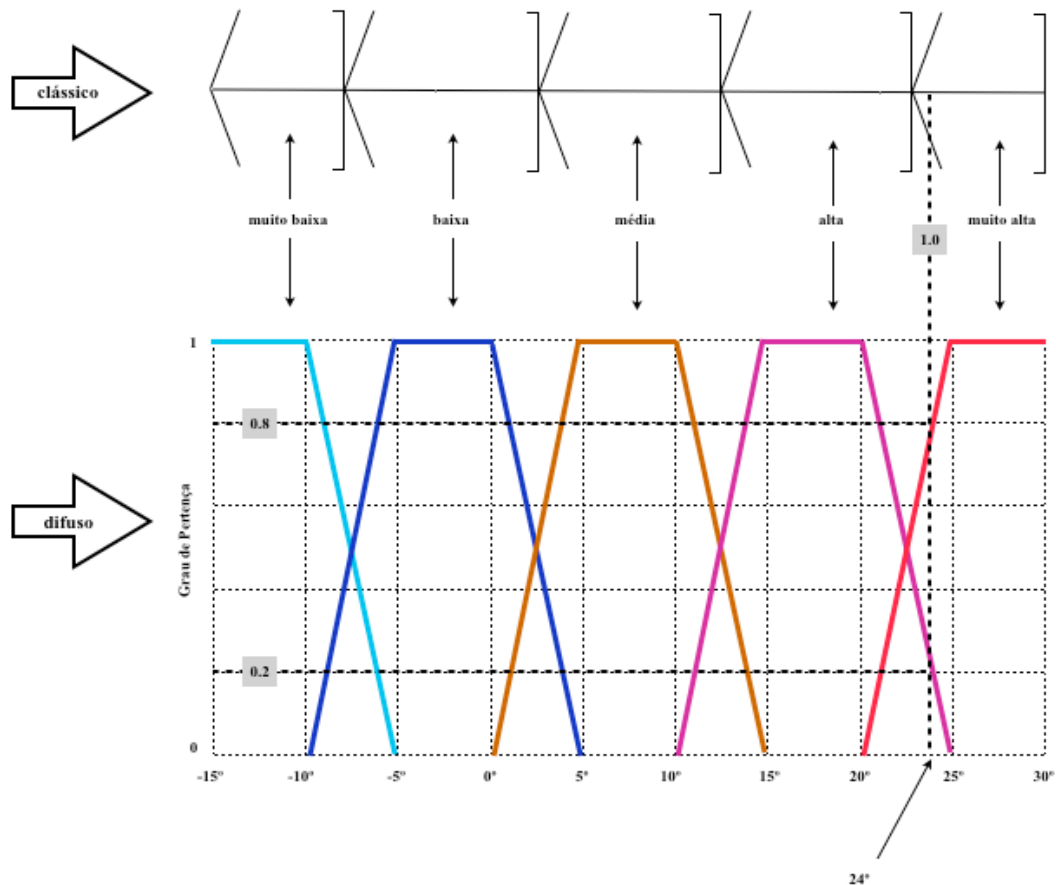


Figura 5 – Temperatura representada segundo um conjunto clássico e um conjunto difuso

Fonte: Klir e Yuan (1995)

O gráfico anterior avalia o grau de pertença para o valor de temperatura 24C°, onde existem 5 categorias: *muito baixa*, *baixa*, *média*, *alta* e *muito alta*. Se considerarmos este valor como um elemento do conjunto clássico, então 24C° são considerados sem qualquer ambiguidade como uma temperatura *muito alta*, apesar de este valor estar bastante perto do nível onde já seria considerado *alta*. Uma pequena alteração em alguns graus Célcius resultaria numa mudança abrupta de categoria. Se considerarmos 24C° como um elemento do conjunto difuso,

determinamos que este valor é considerado como 80% *muito alta* e 20% *alta*, e esta função vai variar gradualmente e continuamente à medida que a temperatura se altera.

A este género de processo que acabou de ser exemplificado, converter um valor *Crisp* num conjunto difuso apropriado através de funções de pertença, chama-se *fuzzificação* (Sivanandam, *et al.*, 2007; Klir e Yuan, 1995; McNeill e Thro, 1994). De acordo com Klir e Yuan (1995), a *fuzzificação* inclui um maior grau de generalização, um poder de expressão mais amplo, uma elevada habilidade para modelar problemas reais e, mais importante, a metodologia para explorar a tolerância inerente à imprecisão. Os conjuntos clássicos, apesar de matematicamente correctos, são irrealistas e pouco práticos.

A escolha das funções de pertença deve ser feita de uma forma simples, conveniente, rápida e eficiente de maneira a que sejam visualmente pouco complexas (Mathworks, 2009).

Cox (1994) menciona que se deve considerar com especial atenção o *overlapping* entre funções de pertença: o *overlapping* é um resultado natural da *fuzziness* e da ambiguidade associada à segmentação e classificação de um espaço contínuo.

Cox (1994) também refere que os modelos de lógica difusa são pouco sensíveis à escolha da função de pertença, tornando-os assim bastante robustos e complacentes. Neste trabalho, esta característica dos modelos de lógica difusa é considerada como uma propriedade importante já que o modelo a propor será um modelo exploratório.

Considerando agora a lógica que é usada para avaliar determinadas proposições; os conjuntos clássicos baseiam-se em lógica clássica. Este tipo de lógica, lógica Aristotélica ou *Boolean*, concebe o universo em categorias bem definidas, onde um termo qualquer faz ou não parte de

um determinado conjunto, sem a existência de espaço intermédios¹. Usando os operadores lógicos *AND*, *OR* ou *NOT*², as preposições são avaliadas segundo a Tabela 2. Em nota, tanto os operadores lógicos como outros termos mais sensíveis à tradução ao longo deste trabalho foram mantidos na sua forma linguística original. Esta escolha é justificada pelo facto da denominação destes mesmos termos no *software* utilizado nos capítulos subsequentes ser também em Inglês, conferindo assim maior coerência ao modelo de sistema proposto.

Tabela 2 – Operadores de lógica clássica

A	B	A and B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	A or B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

A	not A
0	1
1	0

NOT

Fonte: MathWorks (2009)

Como já foi mencionado neste trabalho, os conjuntos clássicos podem ser interpretados como um caso particular dos conjuntos difusos, nos quais os graus da função de pertença são restritos a dois valores extremos (0 ou 1). Dado este facto, os operadores lógicos difusos devem ser capazes de preservar operadores lógicos clássicos para funções bi-variáveis, como resulta a tabela anterior, e ao mesmo tempo conseguir avaliar graus multi-variados de funções de pertença. Um operador lógico difuso que está de acordo com estes requisitos é, por exemplo, o que se encontra na Tabela 3:

¹ As lógicas Clássica, Aristotélica ou Booleana lidam com proposições que são necessariamente verdadeiras ou falsas. Este tipo de lógica baseia-se em duas leis fundamentais conhecidas como Lei da não-contradição e Lei do meio excluído. A primeira diz que a intersecção de um conjunto com o seu complemento resulta num conjunto vazio ou nulo ($A \cap \bar{A} = \emptyset$); a segunda defende que a união de um conjunto com o seu complemento resulta no conjunto universo do domínio considerado ($A \cup \bar{A} = X$). (Cox, 1994; Klir e Yuan, 1995)

² Matematicamente o operador lógico AND pode ser expresso como uma “intersecção” (\cap), OR pode ser expresso como “união” (\cup) e NOT como “complemento” (X^c).

Tabela 3 – Operadores de lógica difusa

A	B	$\min(A,B)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	$\max(A,B)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

A	$1 - A$
0	1
1	0

NOT

Fonte: MathWorks (2009)

Usar **min(.)** em vez de AND, **max(.)** em substituição de OR e **1-(.)** em vez de NOT, possibilita a aplicação da lógica a qualquer conjunto, independentemente de este ser discreto ou contínuo. Existem algumas alternativas para as funções **min(.)** e **max(.)**. No caso da função **min(.)** pode substituir-se pelo produto **|prod(.)|** e a função **max(.)** pode ser substituída pela soma algébrica **|probor(.)|**, onde $probor(a,b)=a+b-ab$. Contudo, a maioria das aplicações de lógica difusa utilizam as funções **min(.)** e **max(.)** (MathWorks, 2002; Cox, 1994). Com isto, a aplicação proposta neste trabalho considera as funções **min(.)** e **max(.)**.

Operadores lógicos difusos permitem atribuir várias proposições a conjuntos difusos. Considerando o exemplo da temperatura, apresentado na figura 5, vamos verificar algumas proposições:

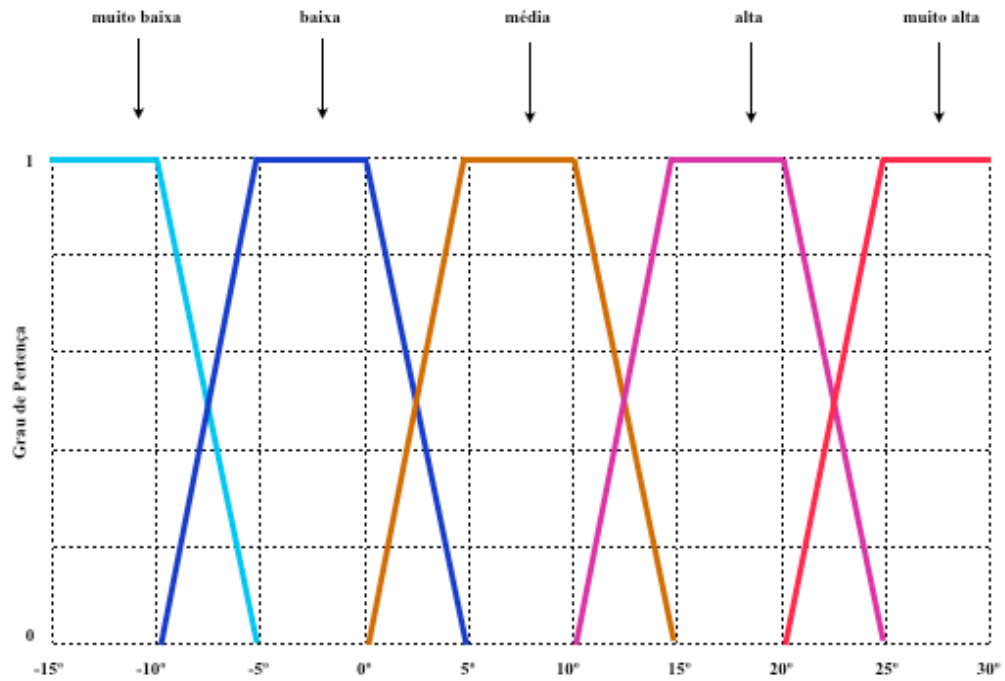


Figura 6 – Avaliação de proposições para o exemplo temperatura representado por um conjunto difuso

Fonte: Klir e Yuan (1995)

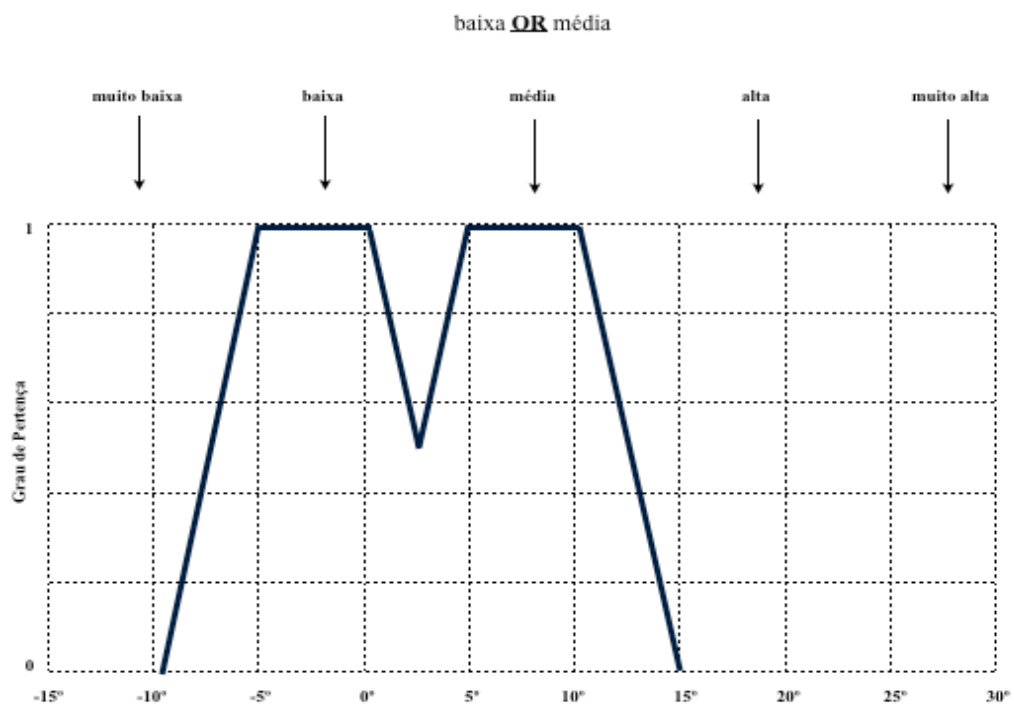


Figura 7 – Proposição baixa OR média

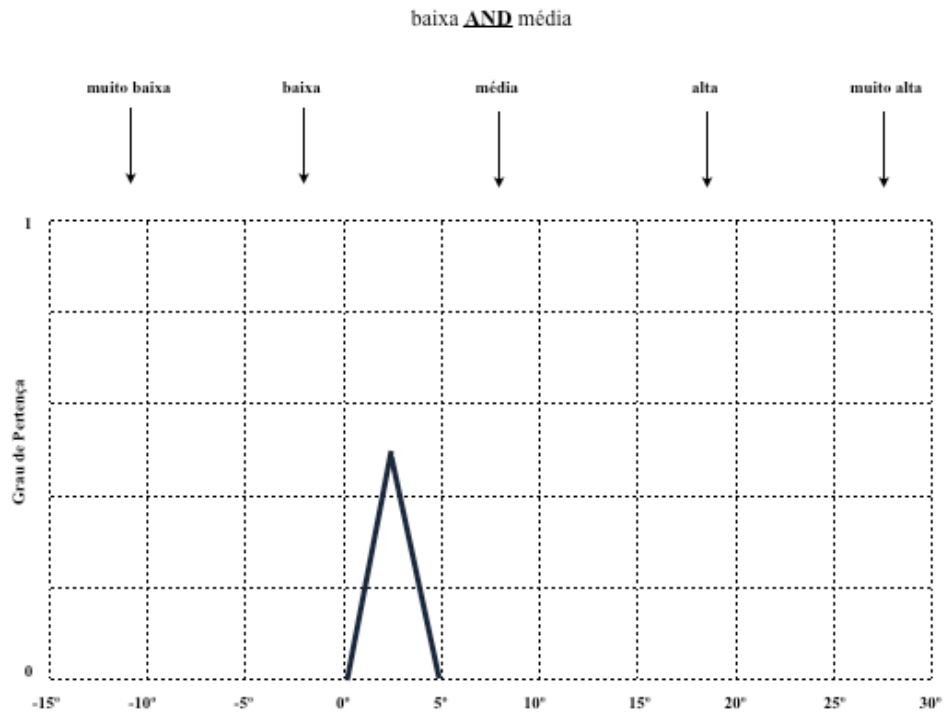


Figura 8 - Proposição baixa AND média

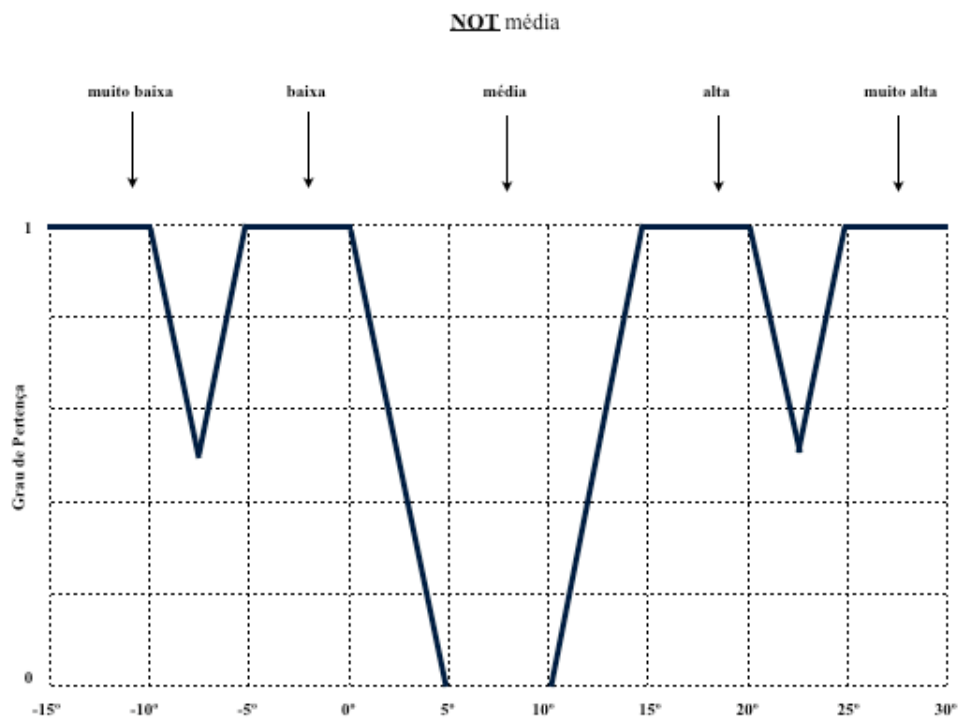


Figura 9 – Proposição NOT média

A existência destes operadores lógicos difusos permite o desenvolvimento e a avaliação de regras difusas de inferência. Estas regras são regras por derivação de afirmações ou argumentos provados como verdadeiros (McNeill e Thro, 1994). Um conjunto de regras difusas de inferência, ou base de regras (*knowledge base*), que contém um conhecimento geral para o domínio do problema que estiver em questão, conecta antecedentes com consequências, premissas com conclusões, ou condições com acções (klir e Yuan, 1995).

Os sistemas de inferência difusos tomam como base regras que utilizam variáveis linguísticas e conjuntos difusos para executar um processo de decisão.

A construção das regras que dão suporte a um sistema difuso são representadas em termos de regras “*IF-THEN*”. A política de controlo é descrita por regras linguísticas “*IF-THEN*”, que modelam a relação entre *inputs* (variáveis de entrada) e *outputs* (variáveis de saída) com uma relação matemática apropriada. A regra antecedente (parte-*IF*) descreve as condições em que as regras são aplicadas e forma a composição dos inputs. A consequente (parte-*THEN*) dá a resposta ou conclusão que deve ser determinada considerando as condições estipuladas. Assim se considerarmos regras do tipo Mandani, E.H. (1977),

$$\text{if } A \text{ is } |...| \text{ AND } B \text{ is } |...|, \text{ then } D \text{ is } |...|$$

$$\text{if } A \text{ is } |...| \text{ AND } B \text{ is } |...| \text{ OR } C \text{ is } |...|, \text{ then } D \text{ is } |...|$$

$$\text{if } A \text{ is } |...| \text{ OR } B \text{ is } |...| \text{ AND } C \text{ is } |...|, \text{ then } D \text{ is not } |...|, \text{ etc}$$

Onde *A*, *B* e *C* são os *inputs* (ou variáveis de entrada), *D* é o *output* (ou variável de saída), e |...| representa as variações linguísticas respectivas codificadas para cada um dos conjuntos difusos com funções de pertença associadas.

Tendo em conta o exemplo do crescimento do PIB, pode-se dizer que uma regra de associação de um sistema difuso poderia ser:

*if crescimento is baixo **AND** inflação is alta then economia is frágil.*

*if crescimento is alto **AND** inflação is baixo then economia is forte.*

As regras de inferência resultam de conhecimento perito (*expert knowledge*) e tentam de certa forma reproduzir as capacidades do raciocínio humano. Cox (1994) afirma que o processo de construir uma base de regras (*knowledge base*) através da elaboração de regras difusas de inferência, força os peritos a fragmentar os seus conhecimentos, o que resulta num benefício bastante significativo para a modelação de sistemas difusos. Com efeito, é extremamente útil codificar directamente o conhecimento de uma forma muito intuitiva e, ao mesmo tempo, muito próxima da forma como os próprios peritos pensam nos processos de decisão.³

Sivanandam, *et tal.* (2007) afirmam que o “calcanhar de Aquiles” dos sistemas difusos são as suas regras de inferência, pois regras inteligentes resultam em sistemas inteligentes. No entanto, regras menos consistentes podem resultar em sistemas menos inteligentes. Bojadziev e Bojadziev (2007) enfatizam a importância da experiência e do conhecimento de peritos quando se desenvolve uma base de regras (*knowledge base*), já que são estes que determinam o objectivo do sistema a ser controlado.

A avaliação das regras de inferência é feita por um motor de inferência difuso, que toma como base os operadores lógicos difusos referidos anteriormente.

O motor de inferência difuso está incumbido de avaliar para os *inputs*, o grau de pertença de uma função para um conjunto difuso. Este determina o *output* de forma a respeitar todas as regras de inferência, o que significa que tal avaliação considerando todas as regras é feita simultaneamente.⁴

³ Cox (1994) acentua o facto dos modelos de decisão convencionais falharem já que estes obrigam os peritos a dividir de uma forma “*crisply*” as regras, resultando na multiplicação desnecessária das mesmas e na incapacidade de articular soluções em problemas complexos.

⁴ De acordo com Cox (1994), a principal diferença entre sistemas peritos convencionais e sistemas peritos difusos é, precisamente, a avaliação das regras de inferência simultaneamente que, comparada com a avaliação em série dos modelos convencionais, tem a vantagem de conseguir examinar todas as regras e o seu impacto no mesmo espaço *output*.

De cada vez que o motor de inferência difuso avalia o grau de pertença de um *input* em relação a uma função, de acordo com as regras de inferência, mapeia cada solução a um conjunto difuso que caracteriza o *output*. O número resultante de conjuntos difusos que definem *outputs* é igual ao número de regras de inferência usadas para definir os *inputs*. Vamos considerar o exemplo seguinte, onde após termos classificado um *input* com três regras de inferência, obtemos três *outputs* caracterizados por conjuntos difusos:

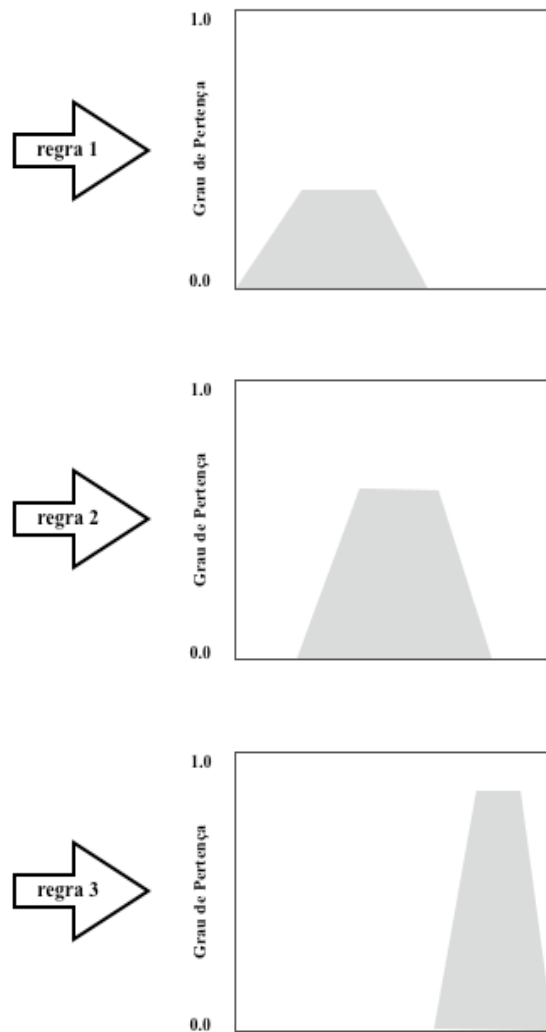


Figura 10 – Conjuntos difusos que definem *output*

A agregação destes três conjuntos difusos resulta num *output* final, que traduz uma região difusa, na qual está contida a informação relativa aos graus de pertença dos *inputs* após considerar todas as regras de inferência.

De seguida, e porque normalmente a resposta tem de ser dada através de um único valor *Crisp*, o valor que representa melhor a região difusa é calculado caso a caso. Fazer esta conversão difusa para valores clássicos define um processo de inferência, que segundo Aguiar (1999) é o processo pelo qual se obtém as conclusões ou saídas do sistema a partir da avaliação do nível de compatibilidade dos *inputs* com cada uma das regras estabelecidas.

Neste momento, o sistema de inferência aplica operações de conjuntos difusos, que resultam num conjunto difuso de saída. Este conjunto final deve sofrer então um processo denominado *defuzzificação*, de forma a poder retornar um valor abrupto para a variável de saída do sistema (MathWorks, 2009; Cox, 1994).

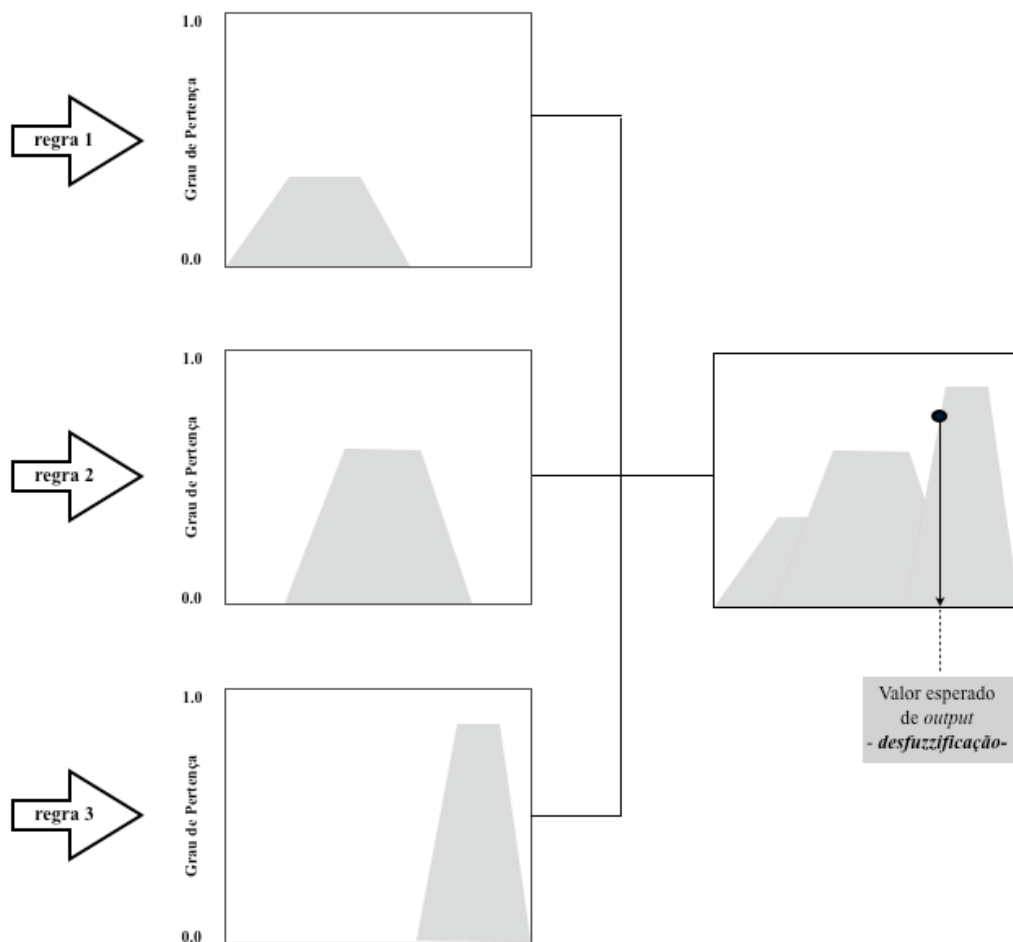


Figura 11 – Agregação e defuzzificação

Fonte: Reveiz e León (2009)

De acordo com a literatura consultada (León e Reveiz, 2009; Sivanandam, *et al.*, 2007; Klir e Yuan, 1995; Cox, 1994), existem várias metodologias de *defuzzificação*:

- ▶ *Centroid*: este é o método mais utilizado, também conhecido como método do centro de gravidade ou método do centro de área. É calculado através da média ponderada da região difusa que define o *output* e corresponde ao ponto no eixo x que divide a região difusa em duas subáreas iguais.
- ▶ *Max-membership-principle*: também conhecido como método da altura ou método da altura máximo. Esta metodologia encontra o ponto de domínio com a verdade máxima, que corresponde ao ponto no eixo x onde o peso máximo de acordo com a origem é encontrado. Se a solução não é única, o ponto é colocado no centro do domínio da solução. Quando este método de resolução é usado o método é normalmente denominado por *Mean-max-membership-principle*.
- ▶ *Weighted average method*: em que a verdade máxima (peso) de cada conjunto difuso que define um *output* é usada para calcular a média ponderada de verdade máxima.
- ▶ *Centre of sums*: é similar ao *weighted average method* mas as áreas de cada conjunto difuso são usadas como pesos em vez de usar as verdades (pesos).
- ▶ *Center of largest area*: em que o *centroid* da maior região definida pelo conjunto difuso que traduz o *output* é usado como o valor esperado do *output*.

De acordo com Sivanandam, *et al.* (2007), Klir e Yuan (1995) e Cox (1994) o método mais utilizado é o *Centroid*.

Cox (1994) refere a consistência e o equilíbrio inerente a este método, a sua sensibilidade ao comprimento e largura da região total difusa e às suaves variâncias no valor final esperado para o *output*. Cox (1994) refere também que, excepto se existirem fortes razões para pensar que o modelo em questão necessite de métodos mais avançados e mais especializados de *defuzzificação*, os modelos devem ser limitados ao método *centroid*.

Finalmente, segundo McNeill e Thro (1994), a combinação das regras de inferência difusas e o motor de inferência difuso – baseado em operadores lógicos difusos – resulta num sistema perito difuso. Combinando a teoria de conjuntos difusos e um sistema perito difuso conseguimos finalmente dimensionar um FLIS.

A figura 12 mostra os vários componentes do FLIS.

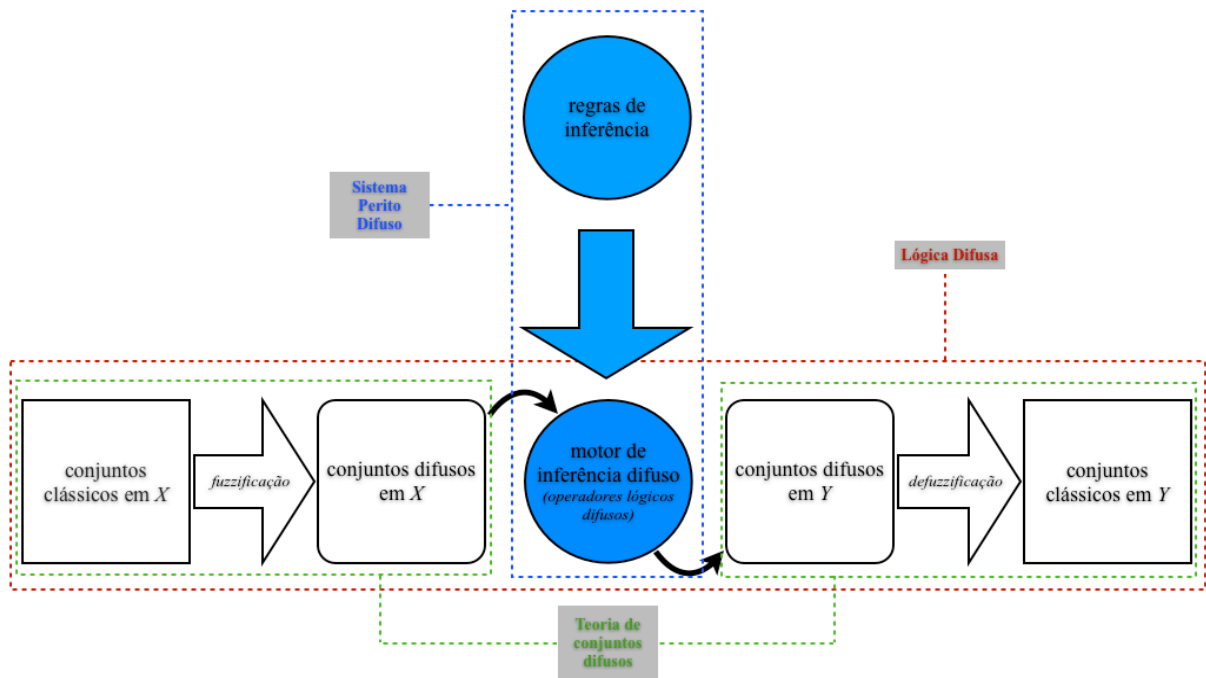


Figura 12 – Sistema de Inferência de Lógica Difusa (FLIS)

Fonte: MathWorks (2009) e Reveiz e Léon (2009)

Para desenvolver o modelo de sistema difuso proposto, é importante recuperar e rever alguns conceitos da lógica difusa e da teoria de conjuntos difusos preponderantes para a construção do nosso FLIS.

Neste capítulo, faremos uma abordagem mais criteriosa e com um rigor matemático mais profundo.

2.3 Conceitos de Conjuntos Difusos

2.3.1 Conjuntos Difusos

Segundo Zadeh (1965), um conjunto difuso A em U , é caracterizado por uma função de pertença que associa a cada elemento x , de U , um número real $\mu_A(x)$, no intervalo de $[0,1]$. Cada função de pertença define um conjunto difuso, A , do conjunto universal, U através da atribuição de um grau de pertença, $\mu_A(x)$, entre 0 e 1 para cada elemento x de U . Este é o grau com o qual x pertence a A :

$$\mu_A(x): U \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Assim o grau de pertença é definido pelo nível de compatibilidade de um elemento do conjunto com o conceito de conjunto. Assim considerando o exemplo do crescimento económico, o conjunto difuso médio poderia ser representado por,

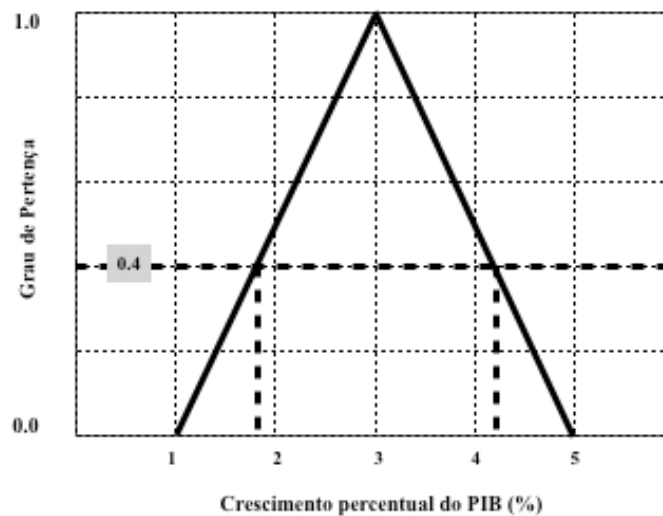


Figura 13 – Função de pertença do crescimento “Médio” percentual do PIB (exemplo).

A figura 14 ilustra os componentes de um conjunto difuso (Pedrycz e Gomide (1998), Zimmerman (1991), Rosko (1996))

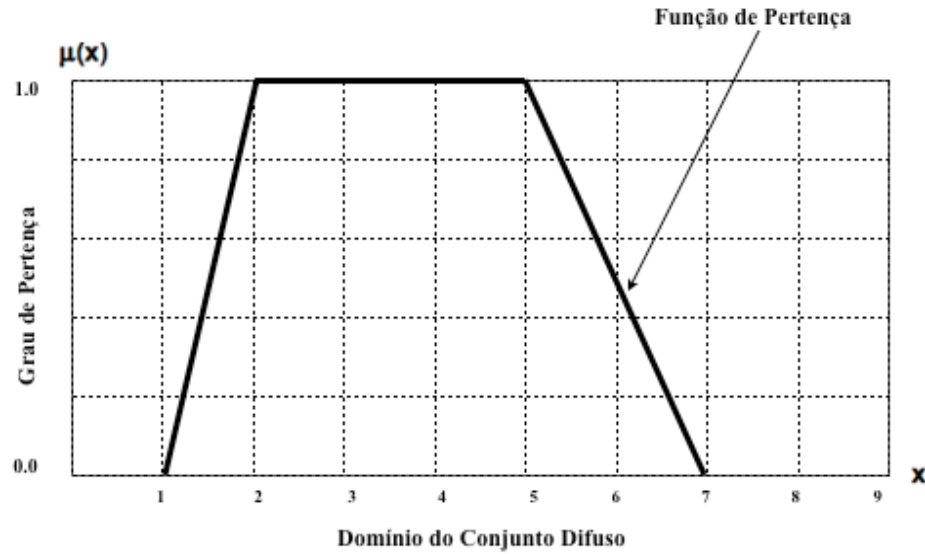


Figura 14 – Componentes de um conjunto difuso

Fonte: Zimmerman (1991)

Segundo Rentería (2006), um conjunto difuso é dito normalizado se o valor máximo (ou supremum) é 1:

$$\sup_{x \in U} \mu_A(x) = 1 \quad (2)$$

Um conjunto difuso que não é normal será chamado de sub-normal.

Existem duas importantes características de conjuntos difusos que justifica realçar:

- O **suporte** de A : é a parte de U sobre a qual a função de pertinência de A não é nula. A sua notação é dada por $\text{supp}(A)$ e verifica a condição:

$$\text{supp}(A) = \{x \in U / \mu_A(x) \neq 0\} \quad (3)$$

- O **núcleo** de A : este não é vazio na condição de que o conjunto difuso A seja normalizado. A sua notação é $\text{nuc}(A)$ e verifica a condição:

$$\text{nuc}(A) = \{x \in U / \mu_A(x) = 1\} \quad (4)$$

Os conjuntos difusos compreendem uma propriedade importante que é a habilidade de expressar transições graduais de pertença e não pertença, o que permite capturar o sentido de expressões em linguagem natural que são na maioria das vezes vagas. Conjuntos *crisp*, isto é, conjuntos cuja função característica assume apenas os valores zero e um, não admitindo valores intermediários são inadequados para este fim.

2.3.2 Conjunto *Singleton*

Um conjunto difuso é chamado de *singleton* se o seu suporte é um único ponto em U e com grau de pertença igual a 1, $\mu(x) = 1$.

A figura 15 ilustra um conjunto *singleton* de domínio 4.

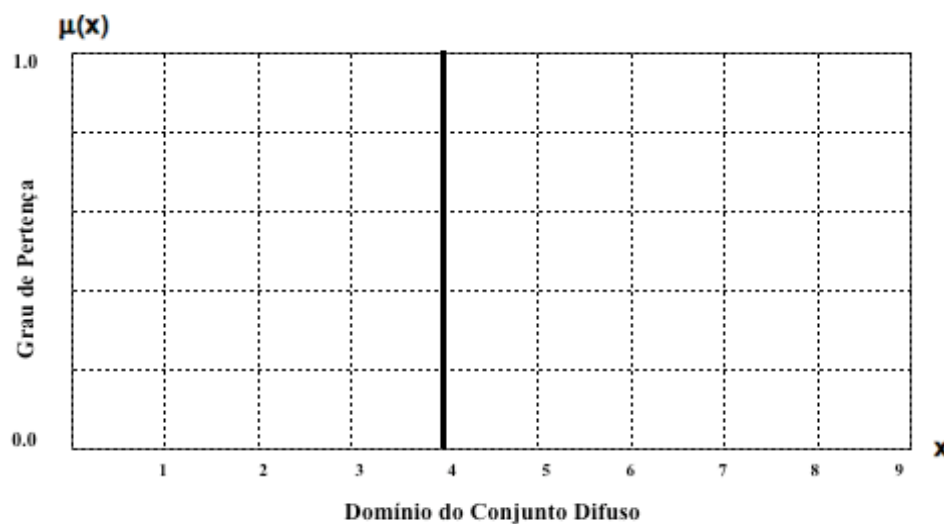


Figura 15 – Exemplo de um conjunto *singleton*

2.3.3 Conjunto α -cut

Rentería (2006) determina que, para todo valor α do intervalo $[0,1]$, é definido o α -cut A_α (ou corte no nível α) de um conjunto difuso A de U como o subconjunto:

$$A_\alpha = \{ x \in U / \mu_A(x) \geq \alpha \} \quad (5)$$

O α -cut pode ser interpretado como o conjunto difuso que apresenta uma restrição ou um limite imposto ao domínio do conjunto baseado no valor de α . Assim, o conjunto resultante contém todos os elementos do domínio que possuem um grau de pertença $\mu(x)$ superior ou igual ao valor de α .

Qualquer conjunto difuso A forma uma família aninhada (*nested family*) de conjuntos, isto é:

$$A_\alpha \subset A_\beta \text{ quando } \alpha > \beta \quad (6)$$

A figura 15 ilustra um conjunto α -cut com $\alpha = 0,2$.

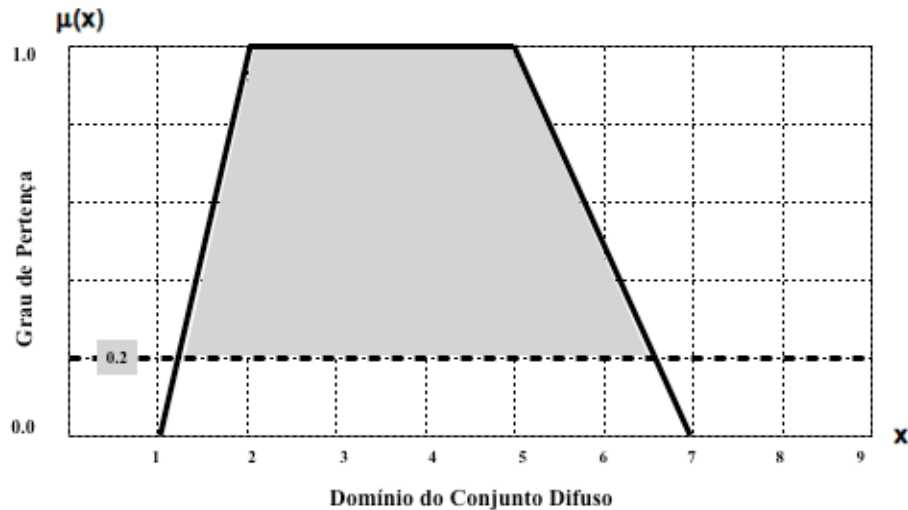


Figura 16 – Exemplo de conjunto α -cut

2.4. Conceitos de Números Difusos

2.4.1 Intervalos Difusos

Vamos considerar um intervalo definido a partir de um número real \mathbb{R} , este intervalo é denominado como um subconjunto de \mathbb{R} . Por exemplo, se tivermos um intervalo com a designação $A = [a_1, a_3]$, $a_1, a_3 \in \mathbb{R}$, $a_1 < a_3$, este poderá ser interpretado como um tipo de conjunto.

Podemos também associar uma função pertença para descrever o intervalo de um conjunto difuso, analítica ou graficamente:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (7)$$

se $a_1 = a_3$, então este indica um ponto, $[a_1, a_3] = a_1$

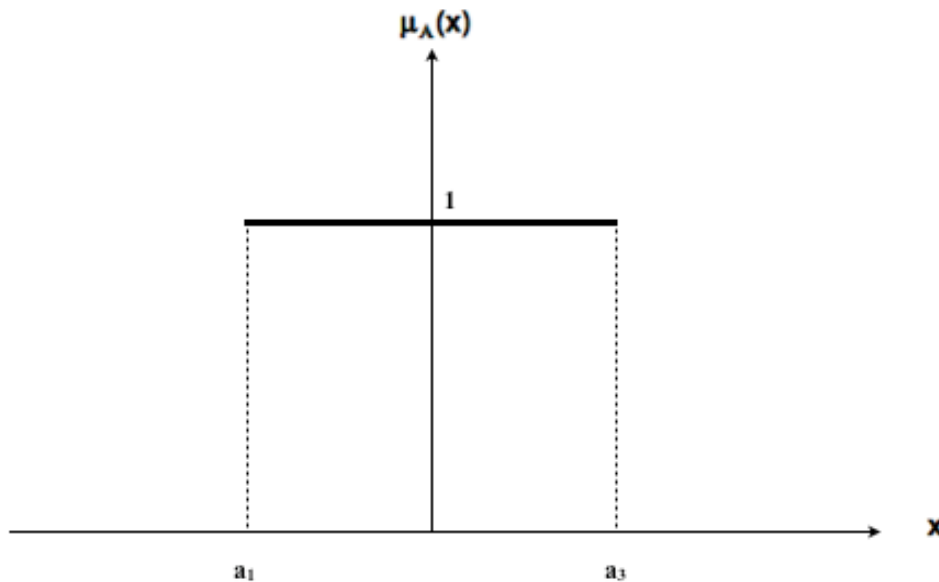


Figura 17 – Exemplo de um intervalo com $A = [a_1, a_3]$

2.4.2 Números Difusos

Um número difuso é um caso especial de conjunto difuso que define um intervalo difuso nos números reais, \mathbb{R} . Considerando um número real cujo valor preciso não é conhecido com exactidão, definimos este número através de um intervalo difuso.

Um intervalo difuso é representado por três pontos. Dois pontos são considerados como pontos extremos a_1 e a_3 , que definem um valor mínimo e um valor máximo. O outro ponto é considerado como ponto médio a_2 (o valor mais possível) como (a_1, a_2, a_3) . A figura 18 ilustra o número difuso $A = (a_1, a_2, a_3)$.

Uma vez que os números difusos mais comuns são os triangulares, os graus de pertença formam funções com equações simples.

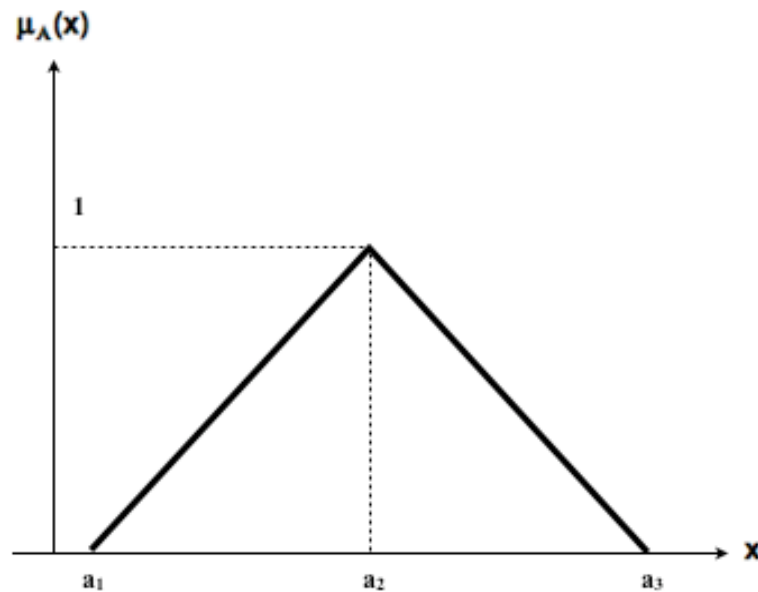


Figura 18 – Ilustração gráfica de um número difuso $A = (a_1, a_2, a_3)$

Podemos também aplicar a operação de α -cut a números difusos. Se considerarmos A_α o intervalo α -cut de um determinado número difuso A , este intervalo é definido como:

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] \quad (8)$$

É também possível estabelecer qualquer intervalo *crisp* dentro de um número difuso associado a um α -cut qualquer, como mostra a Figura 19.

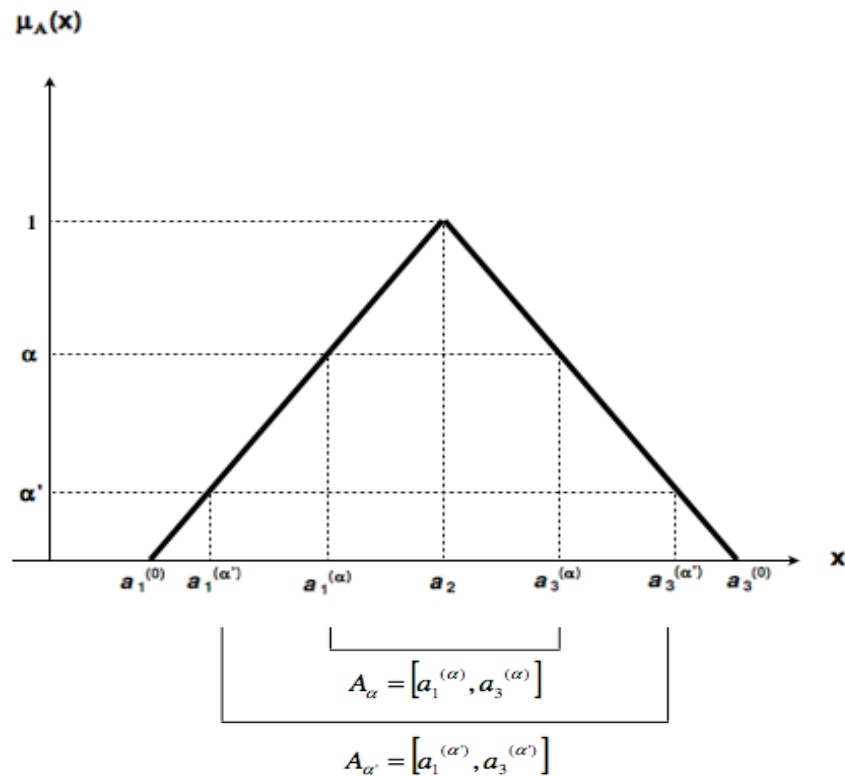


Figura 19 - α -cut de um número difuso: $\alpha' < \alpha \rightarrow A_\alpha \supset A_{\alpha'}$

Fonte: Rentería (2006)

De acordo com Rentería (2006), para definir um conjunto difuso como um número difuso, devemos ter em conta as condições:

- Estar definido nos números reais;
- A função de pertinência deve ser contínua;
- O conjunto difuso deve ser normalizado;
- O conjunto difuso deve ser convexo.

Com isto, um número difuso deve ser normalizado e convexo. A condição para normalizar implica que o valor máximo do grau de pertença seja 1,

$$\exists x \in R, \mu_A(x) = 1 \quad (9)$$

A condição de convexidade significa que a linha traçada por um α -cut é contínua e o intervalo α -cut satisfaz as seguintes relações:

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] \quad (10)$$

$$(\alpha' < \alpha) \Rightarrow (a_1^{(\alpha')} \leq a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha')} \geq a_3^{(\alpha)}) \quad (11)$$

Podemos também traduzir a condição da convexidade através da equação:

$$(\alpha' < \alpha) \Rightarrow A_{\alpha'} \subset A_{\alpha} \quad (12)$$

2.4.2.1 Número Difuso Triangular

Como sabemos, existem diversas formas de números difusos. No entanto, o mais utilizado é o número difuso triangular. Este é representado por três pontos e expresso por $A = (a_1, a_2, a_3)$. Esta representação é interpretada por funções de pertença simples dadas por,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (13)$$

Na figura 20 representamos graficamente um número difuso triangular. No eixo x estão ilustrados os valores da variável, a_1, a_2, a_3 ; no eixo y encontra-se representado o grau de pertença para cada valor de x . De acordo com Rentería (2006), o número difuso triangular é

utilizado quando o parâmetro em análise possui uma faixa de variação e um número dentro desta faixa possui uma possibilidade de ocorrência num único pico maior do que os outros.

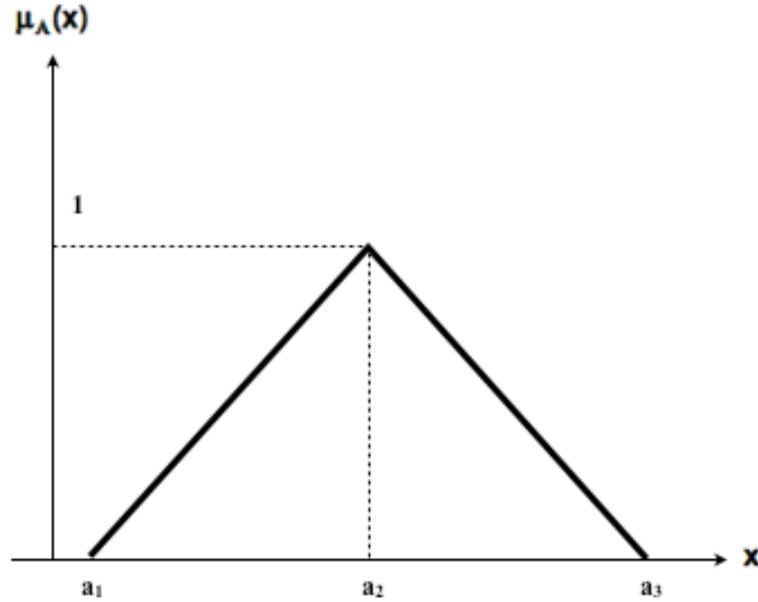


Figura 20 – Número difuso triangular $A = (a_1, a_2, a_3)$

Neste número difuso triangular vamos aplicar uma operação α -cut. Considerando A_α como um intervalo *crisp* de um número difuso triangular, obtido através de uma operação de α -cut $\forall \alpha \in [0, 1]$, de acordo com a equação anterior temos;

$$\frac{a_1^{(\alpha)} - a_1}{a_2 - a_1} = \alpha, \quad \frac{a_3 - a_3^{(\alpha)}}{a_3 - a_2} = \alpha$$

Em função de $a_1^{(\alpha)}$, $a_3^{(\alpha)}$ obtemos,

$$a_1^{(\alpha)} = (a_2 - a_1) \alpha + a_1$$

$$a_3^{(\alpha)} = - (a_3 - a_2) \alpha + a_3$$

Com isto se consideramos Eq. (10),

$$A_{\alpha} = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}]$$

Então:

$$A_{\alpha} = [(a_2 - a_1) \alpha + a_1, -(a_3 - a_2) \alpha + a_3] \quad (14)$$

Vamos exemplificar um intervalo α -cut. Considerando um número difuso triangular $A = (-5, -1, 1)$ representado na Figura 21, temos consequentemente uma função de pertença dada por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < -5 \\ \frac{x+5}{4} & -5 \leq x \leq -1 \\ \frac{1-x}{2} & -1 \leq x \leq 1 \\ 0 & x > 1 \end{cases} \quad (15)$$

Analicamente, o intervalo α -cut deste número difuso é:

$$\frac{x+5}{4} = \alpha \Rightarrow x = 4\alpha - 5$$

$$\frac{1-x}{2} = \alpha \Rightarrow x = -2\alpha + 1$$

$$A_{\alpha} = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] = [4\alpha - 5, -2\alpha + 1] \quad (16)$$

Se considerarmos $\alpha = 0.5$, da equação anterior determinamos $A_{0.5}$,

$$A_{\alpha} = [a_1^{(0.5)}, a_3^{(0.5)}] = [-3, 0]$$

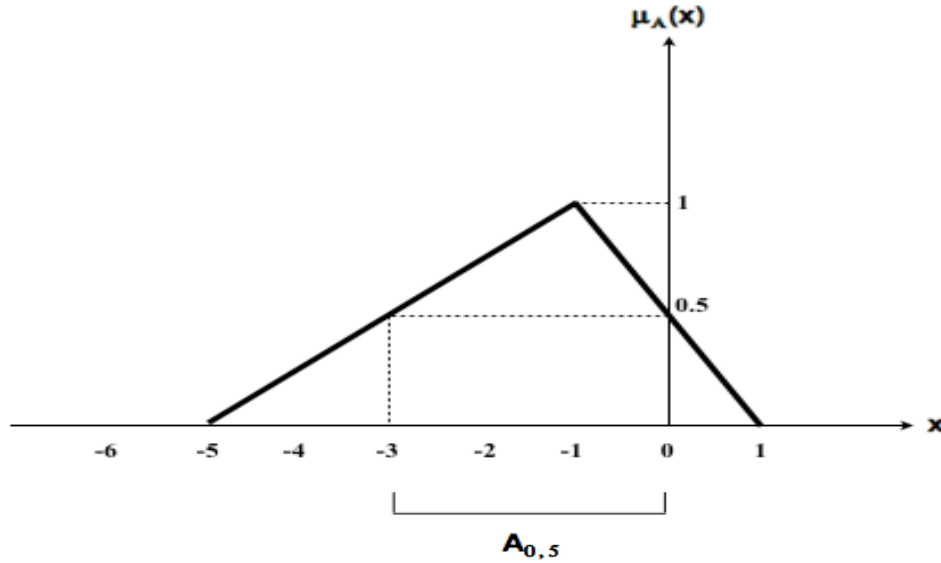


Figura 21 – Intervalo $\alpha=0.5$ cut do número difuso triangular $A = (-5, -1, 1)$

Fonte: Rentería (2006)

2.4.2.2 Número Difuso Trapezoidal

Entre os mais conhecidos estão também os números difusos trapezoidais. São chamados de números difusos trapezoidais porque no plano cartesiano da função de pertinência têm essa forma. Um número difuso trapezoidal A é completamente determinado ou especificado por quatro valores (a_1, a_2, a_3, a_4) : a_1 e a_4 indicam, respectivamente, o limite inferior e superior da base maior do trapézio, onde $\mu_A(x)=0$. Os valores a_2, a_3 são, respectivamente, os limites inferior e superior da base menor do trapézio, onde $\mu_A(x)=1$.

A função de pertinência de um número difuso trapezoidal $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ tem o seguinte comportamento:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a_1 \text{ ou } x \geq a_4 \\ 1 & \text{se } a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & \text{se } a_1 < x < a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_4} & \text{se } a_3 < x < a_4 \end{cases} \quad (17)$$

2.4.3 Aritmética de Intervalos

Tendo em conta que operações com números difusos podem ser generalizadas a partir das operações de intervalos *Crisp*, apresentamos algumas das mais importantes operações intervalares, considerando A e B números expressos como intervalos (Moore (1966), Moore (1979), Dimitrova *et al.*(1992)) de maneira que:

$$\forall a_1, a_3, b_1, b_3 \in \mathbb{R}$$

$$A = [a_1, a_3], \quad B = [b_1, b_3]$$

i) Adição:

$$A + B = [a_1, a_3] (+) [b_1, b_3] = [a_1 + b_1, a_3 + b_3] \quad (18)$$

ii) Subtracção

$$A - B = [a_1, a_3] (-) [b_1, b_3] = [a_1 - b_1, a_3 - b_3] \quad (19)$$

iii) Multiplicação

$$A \cdot B = [a_1, a_3] (\cdot) [b_1, b_3]$$

$$A \cdot B = [a_1 \cdot b_1 \wedge a_1 \cdot b_3 \wedge a_3 \cdot b_1 \wedge a_3 \cdot b_3, \quad a_1 \cdot b_1 \vee a_1 \cdot b_3 \vee a_3 \cdot b_1 \vee a_3 \cdot b_3]$$

ou seja,

$$A \cdot B = [\min\{a_1 \cdot b_1, a_1 \cdot b_3, a_3 \cdot b_1, a_3 \cdot b_3\}, \max\{a_1 \cdot b_1, a_1 \cdot b_3, a_3 \cdot b_1, a_3 \cdot b_3\}] \quad (20)$$

iv) Divisão

$$A / B = [a_1, a_3] (/) [b_1, b_3]$$

$$A / B = [a_1 / b_1 \wedge a_1 / b_3 \wedge a_3 / b_1 \wedge a_3 / b_3, \quad a_1 / b_1 \vee a_1 / b_3 \vee a_3 / b_1 \vee a_3 / b_3]$$

ou seja,

$$A / B = [\min\{a_1 / b_1, a_1 / b_3, a_3 / b_1, a_3 / b_3\}, \max\{a_1 / b_1, a_1 / b_3, a_3 / b_1, a_3 / b_3\}] \quad (21)$$

v) Inversa de um intervalo

$$A^{-1} = 1/A = [a_1, a_3]^{-1}$$

$$A^{-1} = [1/a_1 \wedge 1/a_3, 1/a_1 \vee 1/a_3]$$

ou seja,

$$A^{-1} = [\min\{1/a_1, 1/a_3\}, \max\{1/a_1 \vee 1/a_3\}] \quad (22)$$

excluindo o caso de $a_1 = 0$ ou $a_3 = 0$.

vi) Multiplicação de um intervalo por um escalar:

$$\forall \lambda \in \mathbb{R}$$

$$\text{se } \lambda > 0$$

$$\lambda A = \lambda[a_1, a_3] = [\lambda a_1, \lambda a_3] \quad (23)$$

$$\text{se } \lambda < 0$$

$$\lambda A = \lambda[a_1, a_3] = [\lambda a_1, \lambda a_3] \quad (24)$$

2.4.4 Aritmética Difusa

Existem várias formas pelas quais podem ser apresentados os conceitos de números difusos. Aqui, vamos considerar um número difuso como uma extensão do conceito de intervalo de confiança. Esta extensão é baseada numa ideia simples: em vez de considerar o intervalo de confiança num único nível, este passa a ser considerado em vários níveis, mais especificamente entre os níveis 0 e 1. Assim o intervalo de confiança máximo é igual a 1 e o intervalo de confiança mínimo é igual a 0. O nível de pertença α , para $\alpha \in [0,1]$, proporciona um intervalo de confiança $A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}]$, que traduz uma função monótona decrescente de α , ou seja:

para todo $\alpha, \alpha' \in [0,1]$

se $(\alpha' > \alpha) \Rightarrow A_{\alpha'} \subset A_\alpha$

ou

$(\alpha' > \alpha) \Rightarrow [a_1^{(\alpha')}, a_3^{(\alpha')}] \subset [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}]$

Consequentemente, podemos aplicar a teoria aritmética de intervalos para definir operações com números difusos, onde qualquer intervalo probabilístico definido por um α -cut pode ser tratado independentemente pela aritmética de intervalos.

2.4.4.1 Operações do intervalo α -cut

Os intervalos α -cut de um número difuso $A_\alpha = [a_1, a_3]$ podem ser caracterizados como um conjunto *crisp*.

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] \quad \forall \alpha \in [0,1] \quad a_1, a_2, a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)} \in \mathbb{R}$$

Deste modo, A_α é um intervalo *crisp*. Logo, as operações vistas na aritmética de intervalos são aplicáveis para o intervalo α -cut, A_α .

Se o intervalo α -cut, B_α , de um número difuso B é definido por:

$$B = [b_1, b_3], b_1, b_3 \in \mathbb{R}$$

$$B_\alpha = [b_1^{(\alpha)}, b_3^{(\alpha)}], \forall \alpha \in [0, 1] b_1^{(\alpha)}, b_3^{(\alpha)} \in \mathbb{R}$$

As operações entre A_α , B_α podem ser descritas conforme:

$$A_\alpha + B_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] (+) [b_1^{(\alpha)}, b_3^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} + b_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)} + b_3^{(\alpha)}]$$

$$A_\alpha - B_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] (-) [b_1^{(\alpha)}, b_3^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} - b_3^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)} - b_1^{(\alpha)}]$$

Para cada grau de pertença de um número difuso faz-se corresponder um α -cut, criando-se intervalos α -cut.

Para cada nível, cada α -cut, as operações com o número difuso são feitas de acordo com a aritmética de intervalos. Isto também é válido para multiplicações, divisões, etc.

Concluimos, portanto, que as operações para os números difusos seguem a metodologia utilizada para operações de intervalos. A única diferença é que, para os números difusos as operações têm que ser realizadas para cada nível de pertença.

2.4.4.2 Operações com Números Difusos Triangulares

Existem algumas propriedades de números difusos triangulares que justifica salientar:

- i) Os resultados de uma adição ou subtracção entre números difusos triangulares também são números difusos triangulares.
- ii) Os resultados de multiplicações e divisões não são números difusos triangulares.

No entanto, frequentemente aproximam-se os resultados operacionais de multiplicações ou divisões a números difusos triangulares.

Considerando a adição e subtracção, sendo que, neste caso, não é necessário o uso das funções de pertença. Sejam A e B números difusos triangulares definidos por:

$$A = (a_1, a_2, a_3), B = (b_1, b_2, b_3)$$

i) **Adição**

$$\begin{aligned} A (+) B &= (a_1, a_2, a_3) (+) (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \end{aligned} \quad (25)$$

ii) **Subtracção**

$$\begin{aligned} A (-) B &= (a_1, a_2, a_3) (-) (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \end{aligned} \quad (26)$$

iii) **Imagem Simétrica**

$$- (A) = (-a_3, -a_2, -a_1) \quad (27)$$

Considerando um exemplo para tornar mais intuitiva estas aplicações, consideremos dois números difusos triangulares A e B definidos por:

$$A = (-3, 2, 4) \text{ e } B = (-1, 0, 6)$$

assim:

$$A(+)B = (-4, 2, 10)$$

$$A(-)B = (-9, 2, 5)$$

As figuras que se seguem ilustram, respectivamente, os conjuntos difusos de A e de B, o conjunto difuso da soma $A(+)B$ e o conjunto difuso da subtracção $A(-)B$.

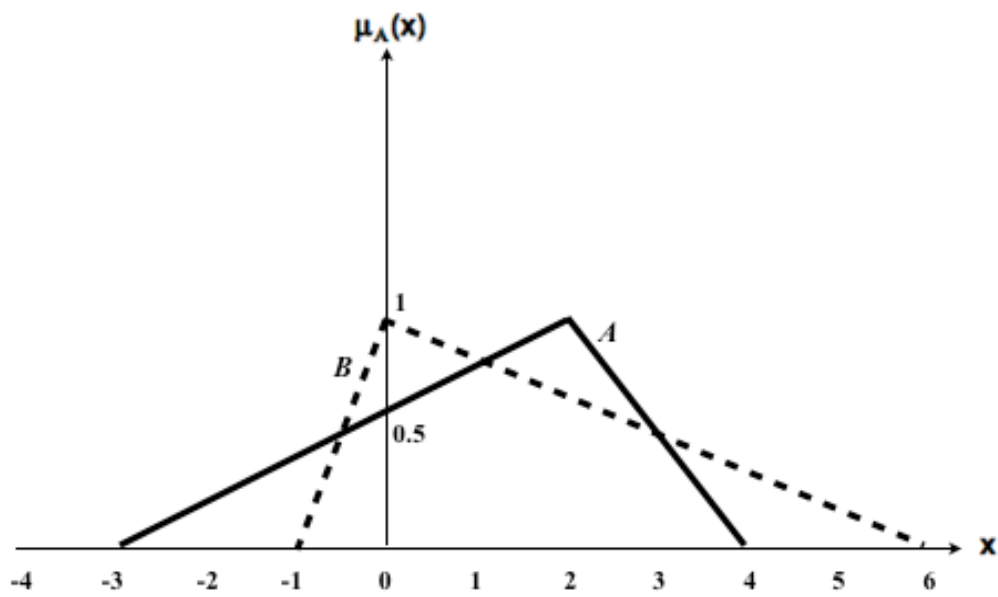


Figura 22 – Números difusos triangulares A e B

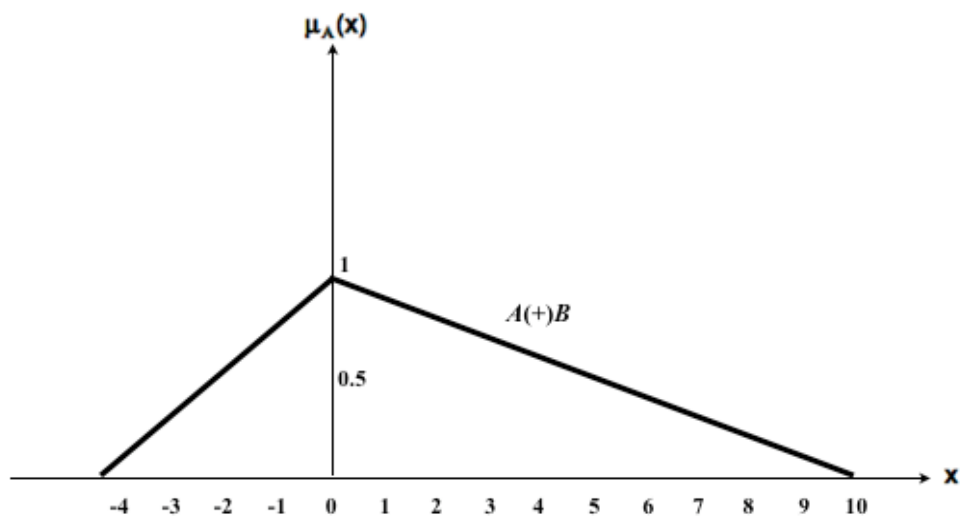


Figura 23 – Soma A (+) B de números difusos triangulares

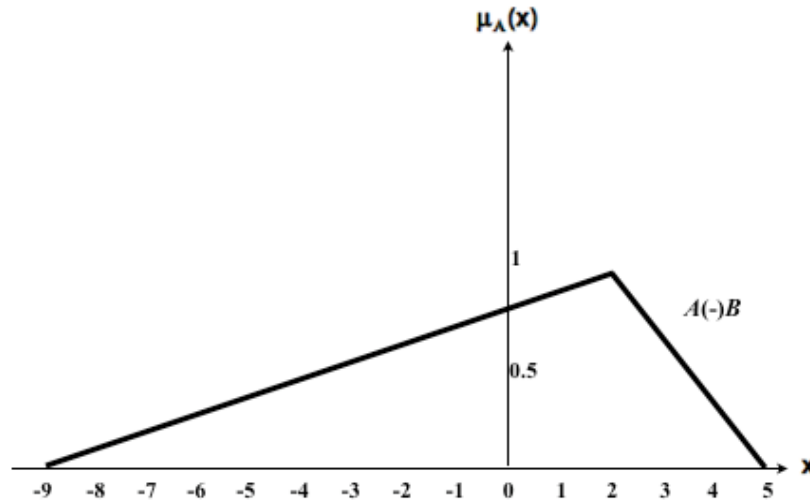


Figura 24 – Subtração $A(-)B$ de números difusos triangulares

No caso da multiplicação e divisão os resultados não são, como já foi mencionado anteriormente, números difusos triangulares. No entanto, vamos exemplificar uma aproximação da multiplicação.

Consideremos dois números difusos triangulares definidos por:

$$A = (1, 2, 4), B = (2, 4, 6)$$

Inicialmente vamos determinar os α -cuts dos números difusos em análise:

$$\begin{aligned} A\alpha &= [(2 - 1)\alpha + 1, - (4 - 2) \alpha + 4] \\ &= [\alpha + 1, - 2\alpha + 4] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B\alpha &= [(4 - 2)\alpha + 2, - (6 - 4) \alpha + 4] \\ &= [2\alpha - 2, - 2\alpha + 6] \end{aligned}$$

Para todo $\alpha \in [0,1]$, multiplica-se $A\alpha$ e $B\alpha$, que são dois intervalos *crisp*. Façamos ver que, para $\alpha \in [0,1]$, todos os elementos dos intervalos são números positivos. Assim a operação de multiplicação dos dois intervalos é fácil de resolver.

$$\begin{aligned}
 A\alpha (\bullet)B\alpha &= [\alpha + 1, -2\alpha + 4](\bullet)[2\alpha + 2, -2\alpha + 6] \\
 &= [(\alpha + 1)(2\alpha + 2), (-2\alpha + 4)(-2\alpha + 6)] \\
 &= [(2\alpha^2 + 4\alpha + 2, 4\alpha^2 - 20\alpha + 24)]
 \end{aligned}$$

Aqui fica claro que o número difuso resultante da multiplicação de dois números difusos triangulares não é um número difuso triangular.

Quando $\alpha = 0$:

$$A_0 (\bullet)B_0 = [2, 24]$$

Quando $\alpha = 1$:

$$\begin{aligned}
 A_1 (\bullet)B_1 &= [(2(1)^2 + 4(1) + 2, 4(1)^2 - 20(1) + 24)] \\
 &= [2 + 4 + 2, 4 - 20 + 24] = [8, 8 - 8]
 \end{aligned}$$

Com isto, determinamos um número difuso triangular que é uma aproximação de $A(\bullet)B$:

$$A(\bullet)B \approx (2, 8, 24)$$

Na figura seguinte apresentamos as funções de pertença dos números difusos triangulares A e B, a função de pertença não aproximada da multiplicação $A(\bullet)B$ e a função de pertença da mesma multiplicação aproximada por um número difuso triangular.

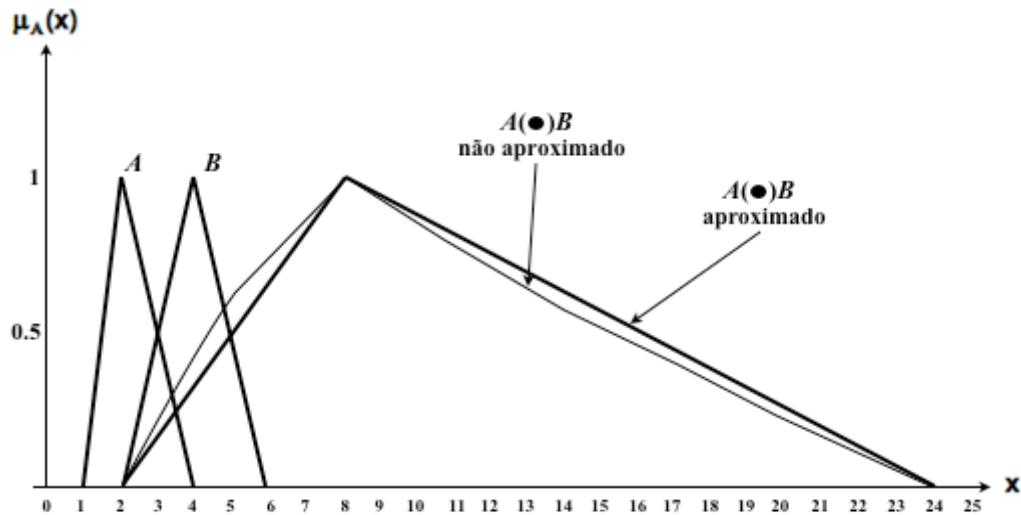


Figura 25 – Multiplicação $A(\bullet)B$ de dois números difusos triangulares

Fonte: Renteria (2006)

Como podemos observar a diferença entre as duas funções de pertinência de $A(\bullet)B$ pode ser pequena.

De forma análoga, o resultado aproximado da divisão $A(/)B$ é expresso através de um número difuso triangular. Se considerarmos o exemplo anterior, com os mesmos números difusos triangulares A e B e os mesmos intervalos α -cut A_α e B_α então para todo $\alpha \in [0,1]$, como todos os elementos de cada intervalo são números positivos e não nulos, a divisão $A_\alpha (/) B_\alpha$ é feita da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} A_\alpha (/) B_\alpha &= [\alpha + 1, -2\alpha + 4] (/) [2\alpha + 2, -2\alpha + 6] \\ &= [(\alpha + 1) / (-2\alpha + 6), (-2\alpha + 4) / (-2\alpha + 2)] \end{aligned}$$

Quando $\alpha = 0$:

$$\begin{aligned} A_0 (/) B_0 &= [1/6, 4/2] \\ &= [0.17, 2] \end{aligned}$$

Se considerarmos $\alpha = 1$:

$$\begin{aligned}A_1 (/) B_1 &= [(1 + 1) / -2(1) + 6, (-2(1) + 4) / (2(1) + 2)] \\&= [2/4, 2/4] \\&= [0.5, 0.5] \\&= 0.5\end{aligned}$$

Assim obtemos o número difuso triangular que é uma aproximação de $A(/)B$ dado por,

$$A(/)B \approx (0,17, 0,5, 2)$$

3. MODELO PROPOSTO DE SISTEMA DE INFERÊNCIA DE LÓGICA DIFUSA – FLIS-RM

3.1 Lógica de Concepção do Modelo

Como referido, nesta dissertação, propõe-se construir um modelo de sistema de inferência difuso para apoiar a tomada de decisão na resolução do problema de selecção da melhor estratégia de resposta face a um risco específico.

As particularidades mencionadas levaram a uma caracterização das várias aproximações existentes, que podem ser classificadas de acordo com o grau de resiliência na análise de informação e conhecimento perito (*expert knowledge*) conforme demonstrado na figura 26 – as extremidades variam entre modelos puramente quantitativos e modelos puramente qualitativos na modelação do risco.



Figura 26 – Métodos para modelar o risco

Fonte: Shah (2002)

Shah (2003, 2002) identifica a natureza dinâmica e endógena do risco como a principal motivação para o uso de conhecimento perito (*expert knowledge*) de forma a colmatar aproximações inteiramente quantitativas. De acordo com Shah (2003, 2002) os modelos capazes de combinar conhecimento perito (*expert knowledge*) com análise de dados são os mais indicados para modelar o risco.

Aplicações com base em conhecimento de peritos não são invulgares. Quando lidamos com sistemas complexos onde a informação é incompleta ou imprecisa, especialmente quando estamos a lidar com razão humana, a engenharia industrial já dependeu muitas vezes, e com sucesso, da lógica difusa.

Com isto de forma a apoiar o gestor de projecto na tomada de decisão quanto à melhor estratégia a adoptar para melhor fazer face ao risco, este trabalho apresenta um modelo de sistema computacional de inferência de lógica difusa, FLIS-RM.

É importante salientar que a lógica difusa não vem, de modo algum, substituir aproximações quantitativas na análise do risco mas sim, complementar através da informação complexa e não quantitativa que está inerente ao risco. De acordo com Cruz (2002) a função da lógica

difusa não é competir com a teoria matemática da probabilidade na avaliação de eventos aleatórios, mas sim complementar quando estamos a lidar com problemas do mundo real nos quais a informação é subjectiva, incompleta ou pouco fiável, e quando os sistemas são não lineares, permitindo desta forma compreender as correlações que existem na resposta ao risco.

O desenvolvimento da teoria de conjuntos difusos, números difusos, e lógica difusa, foi amplo principalmente devido ao papel dominante que o comportamento e o julgamento humano tomam no nosso sistema. Para lidar com sistemas humanísticos, ou seja, sistemas em que o comportamento e o julgamento humano tomam uma função imperantiva a teoria difusa é preponderante (Karwowski e Mital, 1986) (Zadeh, 1965).

Para construir e simular um sistema de inferência de lógica difusa temos que ter em conta quatro pontos importantes já abordados no capítulo 2 (MathWorks, 2009):

- definir variáveis de entrada (*inputs*) e variáveis de saída (*outputs*)
- criar funções de pertença
- criar regras de inferência difusas
- simular o sistema de inferência de lógica difusa resultante

A partir destas definições será então necessário primeiramente definir domínios das variáveis e funções de pertença. Estas dimensões não foram discutidas com especialistas. Porém, posteriormente, especialistas participaram no processo de avaliação do modelo proposto e seus resultados.

3.2 Variáveis de Entrada, Saída e Funções de Pertença

A definição das variáveis de entrada e das variáveis de saída resulta do domínio da gestão do risco. A gestão do risco é uma das várias áreas de conhecimento na gestão de projectos.

A gestão de risco pode ser dividida em três fases principais – identificação, análise e resposta (Maylor, 2006). A Figura 27 representa algumas das técnicas e ferramentas que integram estas três fases. O presente trabalho limitar-se-á à fase de resposta ao risco (*risk response*).

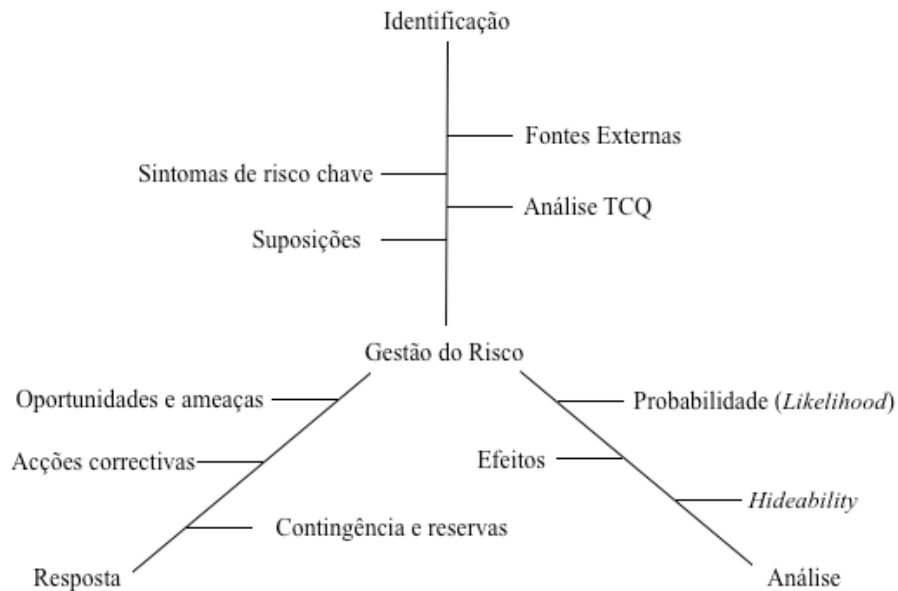


Figura 27 – Esquema da gestão do risco

Fonte: Maylor (2006)

Concluídas as fases de identificação e análise de risco (*identification & analyses*), as respostas de gestão entram em acção, poderão estar em causa medidas preventivas para evitar o risco, alterações no plano de projecto, contingência de planos para lidar com riscos, e alocação do risco em contratos e seguros (Simone *et al.*, 1997; PMI, 2008). Apesar de apresentarem algumas divergências na categorização de respostas estratégicas face ao risco, o PMBOK® *Guide* e o PRAM, adoptam a seguinte categorização:

- Evitar (*Avoidance*)
- Aceitar (*Acceptance*)
- Transferir (*Transference*)
- Mitigar (*Mitigation*)

São estas estratégias genéricas de resposta ao risco que constituirão as nossas variáveis de saída no modelo que propomos.

Note-se que nesta fase apesar da categorização de respostas estratégicas face ao risco terem adaptações perfeitamente plausíveis para Português, nesta dissertação optámos por manter os termos originais em Inglês. Tal deve-se ao facto da ferramenta de modelação do sistema seleccionada, a *Fuzzy Logic ToolBox Software* (do ambiente computacional MATHLAB), mostrar todos os seus interfaces em Inglês e como tal existe maior coerência em apresentar todos os valores linguísticos considerados no modelo de sistema em Inglês.

Consideremos o termo *Avoidance* como eliminação do risco. Das quatro respostas estratégicas, Smith (1999) destaca este tipo de resposta defendendo que, sempre que possível, os gestores devem ser proactivos e evitar o risco eliminando, se possível, a causa deste. O tipo de resposta *Avoidance* requer maior acção mas também proporciona melhores benefícios. Com efeito, esta resposta estratégica reduz a exposição ao risco ou chega mesmo a eliminá-lo protegendo completamente o projecto de qualquer impacto (Young, 2006).

Transference consistirá em deslocar a ameaça de impacto e a responsabilidade da resposta para terceiros, através por exemplo da celebração de um contrato entre duas entidades. A responsabilidade de custos associados a determinado risco pode ser transferida para terceiros, ou noutras palavras, o risco é eliminado já que é suportado por outros (Young, 2006). Contudo, importa referir que transferir o risco por si mesmo não vai verdadeiramente gerir o risco (Simon, 1997).

Com a *Mitigation* pretende-se reduzir a probabilidade de ocorrência de um risco e o seu impacto (Young, 2006). A redução do risco pode dar-se através de várias acções, como por exemplo: manter contacto constante com os clientes, reutilizar componentes já provados como aptos, clarificar procedimentos e *designs*, investir em seguros. Mitigar riscos pode assim levar à redução dos mesmos através de, por exemplo, simulações económicas. Assim, na hipótese de uma empresa se deparar com um problema a nível técnico, aquele poderá concentrar-se em decompor esse problema técnico e procurar, perceber quais as causas desse risco e, assim, prevenindo futuros problemas técnicos semelhantes (Smith, 1999). *Mitigation* requer que se tomem acções, resultantes de uma resposta de gestão ao risco planeada antes deste se manifestar e/ou planos de contingência após este se manifestar (Young, 2006).

Acceptance, para este modelo de sistema, é definida como uma resposta passiva ao risco. Existem empresas que, muitas vezes, aceitam o risco e, ponderando os benefícios e as penalizações, optam por não mudar o seu plano de gestão de um projecto (Young, 2006). Os gestores podem deixar as equipas responsáveis pelo desenvolvimento de novos produtos lidar com o risco à medida que este vai ocorrendo no projecto ou podem desenvolver planos de contingência para tentar reduzir o impacto do risco no projecto. Os planos de contingência envolvem a aplicação de procedimentos pré-definidos após a ocorrência dos riscos identificados (PMI, 2008; Simon et al., 1997). *Acceptance* também pode ser uma estratégia a adoptar para beneficiar de uma oportunidade sem necessariamente a perseguir. Com efeito, estratégias denominadas como *exploit*, *share* ou *enhance* podem ser excelentes estratégias a aplicar para beneficiar de oportunidades.

Exploit procura assegurar a probabilidade do risco. *Share* aloca a responsabilidade de responder adequadamente à oportunidade a um terceiro que potencialmente aumente os benefícios associados a esta oportunidade. *Enhance* tem como objectivo aumentar a probabilidade de ocorrência e o impacto de oportunidades.

Com isto, podemos concluir que a ocorrência de um risco pode ter efeitos negativos mas também positivos num projecto. O processo de resposta ao risco (*risk response process*) passa por desenvolver estratégias para minimizar ameaças, ou seja, riscos negativos e otimizar oportunidades, isto é, riscos positivos (PMI, 2008; Nielsen, 2007).

É possível verificar muitas similaridades entre estratégias de resposta ao risco, seja este positivo ou negativo. Comparando-as verificamos que, na verdade, as estratégias de resposta ao risco, seja este negativo ou positivo, são idênticas. Este princípio foi generalizado por Hillson (2001a) de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 4 – Estratégias de resposta genéricas a oportunidades e ameaças

<i>Resposta à ameaça</i>	<i>Estratégia genérica</i>	<i>Resposta à oportunidade</i>
Avoidance	Eliminar incerteza	Exploit
Transference	Alocar responsabilidade	Share
Mitigation	Modificar exposição	Enhance
Acceptance	Incluir na base	Acceptance

Este princípio consubstancia-se no facto dos gestores poderem potenciar vantagens na gestão de risco dos seus projectos. Com efeito, ao não implementarem estratégias de gestão de risco positivo não beneficiam das respectivas vantagens, garantindo assim que apenas metade dos benefícios da gestão de risco sejam atingidos (Hilson, 2001a).

O modelo que se propõe garante flexibilidade suficiente para auxiliar na tomada de decisão da melhor estratégia a adoptar quer na resposta a oportunidades (riscos positivos) quer na resposta a ameaças (riscos negativos). Neste trabalho o caso real de aplicação do modelo proposto incide sobre um risco negativo, ou seja, pretende apurar a melhor resposta para fazer face a uma ameaça. Escolhemos um caso de incerteza de resposta à ameaça visto ser essa a prioridade do gestor de projectos responsável pelo projecto na empresa associada.

Em casos especiais, em que há grandes incertezas relativamente à melhor estratégia de resposta a adoptar, podem ser aplicadas várias acções (PMI, 2008; Maylor, 2006). No entanto, apesar de eficientes, muitas destas acções têm campos de aplicação muito gerais o que pode ser negativo. Por outro lado muitas vezes acontece existirem várias estratégias de resposta adequadas para o mesmo risco o que contribui para um maior grau de incerteza.

A decisão do caminho a adoptar para encontrar a melhor estratégia para fazer face a um risco deve ser tomada tendo em conta apenas o juízo do gestor de projectos (Aleixo, 2009). Nos casos especiais de grande incerteza quanto à melhor estratégia ou onde há várias estratégias adequadas para um determinado risco, o gestor do projecto deve adoptar ferramentas específicas para solucionar tal problema. É desta necessidade que surge o modelo de sistema de inferência que propomos.

Quando o gestor de projectos se encontra face a grandes incertezas quanto à melhor estratégia a adoptar para prevenir, mitigar, transferir ou aceitar determinado risco, os recursos para implementar a estratégia, o custo, o tempo de conclusão do projecto e o impacto previsto são as variáveis necessárias para dissipar a dúvida ao gestor de projectos (Aleixo, 2009).

Assim estas quatro variáveis: os recursos, o custo, o tempo e o impacto, serão as variáveis de entrada (*inputs*) do modelo proposto consideradas relevantes para a determinação da estratégia a adoptar:

- **Custo (Cost):** Indica o investimento financeiro feito no projecto e/ou determinada actividade do mesmo.
- **Tempo (Time):** Denota o período de tempo necessário para concluir o processo.
- **Recursos (Resources):** Esta variável representa os recursos necessários para concluir o projecto e/ou determinada actividade do mesmo.
- **Impacto (Impact):** Esta variável representa o nível de impacto da decisão no projecto e/ou determinada actividade do mesmo.

Estas variáveis são definidas em domínios traduzidos por conjuntos clássicos. Estes conjuntos clássicos, definidos por valores *crisp*, são convertidos apropriadamente para conjuntos difusos através de funções de pertença. A este processo (ver capítulo 2) chama-se *fuzzificação*. A *fuzzificação* inclui um poder de expressão mais amplo e consequentemente uma maior

habilidade para modelar problemas reais (Klir e Yuan, 1995). Com este maior grau de generalização ao *fuzzificar* conjuntos clássicos, obtemos uma tolerância inerente a imprecisão essencial para modelar o nosso sistema e determinar soluções efectivas.

As funções de pertença para definir as variáveis em conjuntos difusos devem ser simples e eficazes (MathWorks 2009). A ferramenta informática disponibiliza mais de onze funções de pertença para a definição das várias variáveis. Algumas destas funções de pertença foram já caracterizadas e podem ser encontradas no capítulo 2 (ver figura 4).

A caracterização das variáveis para conjuntos difusos através das funções pertença é um passo importante, de qualquer modo Cox (1994) refere que os modelos de lógica difusa são pouco sensíveis à escolha da função de pertença, tornando os modelos mais robustos.

Note-se que na definição das funções de pertença associadas a cada variável de entrada e saída foram utilizadas funções de pertença definidas por números trapezoidais e/ou triangulares. De acordo com o estudo realizado no capítulo 2 a escolha da função de pertença deve ser feita de forma conveniente, rápida e eficiente de maneira a que sejam visualmente pouco complexas (Mathworks, 2009).

Com isto, escolhem-se as formas de representação triangulares e trapezoidais por serem as que intuitivamente se adaptam aos valores linguísticos de cada variável e também por traduzirem números difusos de utilização mais comum, onde os graus de pertença formam funções com equações simples como é demonstrado nas equações (13) e (17) do capítulo 2.

3.3 Regras de Inferência Difusas Propostas

Para detalhar a base de regras, ponto fulcral em qualquer modelo de inferência já que é esta base de regras que contém um conhecimento geral para o domínio do problema que estiver em questão, conectando antecedentes com consequências, premissas com conclusões, ou condições com acções (Klir e Yuan, 1995), contamos com a avaliação de peritos para a criação de regras que fazem a correlação considerada como óptima das variáveis do sistema. Como especificado no capítulo 2 consideramos o operador lógico difuso *AND* que permitiu o desenvolvimento e a avaliação das nossas regras difusas de inferência. Esta escolha é

justificada pelo facto deste operador lógico *AND*, matematicamente, ser expresso como “intersecção” (\cap). É esta a correlação entre as variáveis de entrada que se pretende. Os restantes operadores difusos *OR* ou *NOT*, expressos como união (\cup) e como “complemento” (X^c) respectivamente, não têm aplicação neste modelo.

Também como discutido anteriormente (secção 2.2 do capítulo 2) as regras que dão suporte ao sistema são do tipo Mandani, isto é, a política de controlo é descrita por regras linguísticas “*IF-THEN*” (consultar anexo I e II).

Aos peritos será necessário solicitar que, considerando os valores linguísticos definidos para cada variável, estabeleçam a regra difusa mais indicada para cada variável de saída conjugando as diversas variáveis de entrada. Considerámos qualquer afastamento destas condições óptimas como “negativo”. Tendo em conta que definiremos todas as funções de pertença com o mesmo “peso” como tal se nos afastarmos de uma relação óptima de variáveis de entrada (*inputs*), que determina o resultado considerado como óptimo para a variável de saída (*output*), então naturalmente também nos afastaremos do resultado considerado como óptimo. Exemplificando; se considerarmos a regra difusa óptima para a variável de saída “*phi*” determinada pelos peritos, na figura 28 temos:

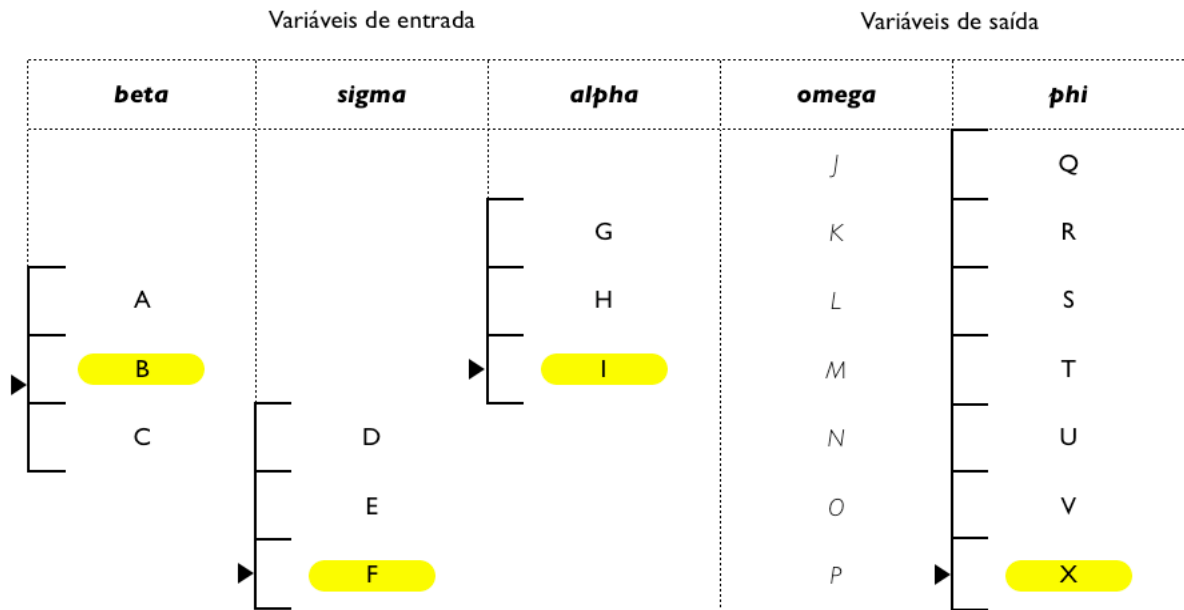


Figura 28 – Regra difusa da variável de saída “phi”

Assim se houver um afastamento de parâmetros linguísticos desta regra difusa, como por exemplo; na variável de entrada “*beta*” passar a considerar a função de pertença “*C*” e na variável “*sigma*” passar a considerar a função de pertença com valor linguístico “*E*” e na variável “*alpha*” manter a função de pertença “*I*” então o meu valor linguístico para a variável de saída considerada, ou seja, para a variável “*phi*” também se afastará dois valores linguísticos do cenário tido como óptimo, ou seja, será “*U*”. A figura 29 representa a operação descrita.

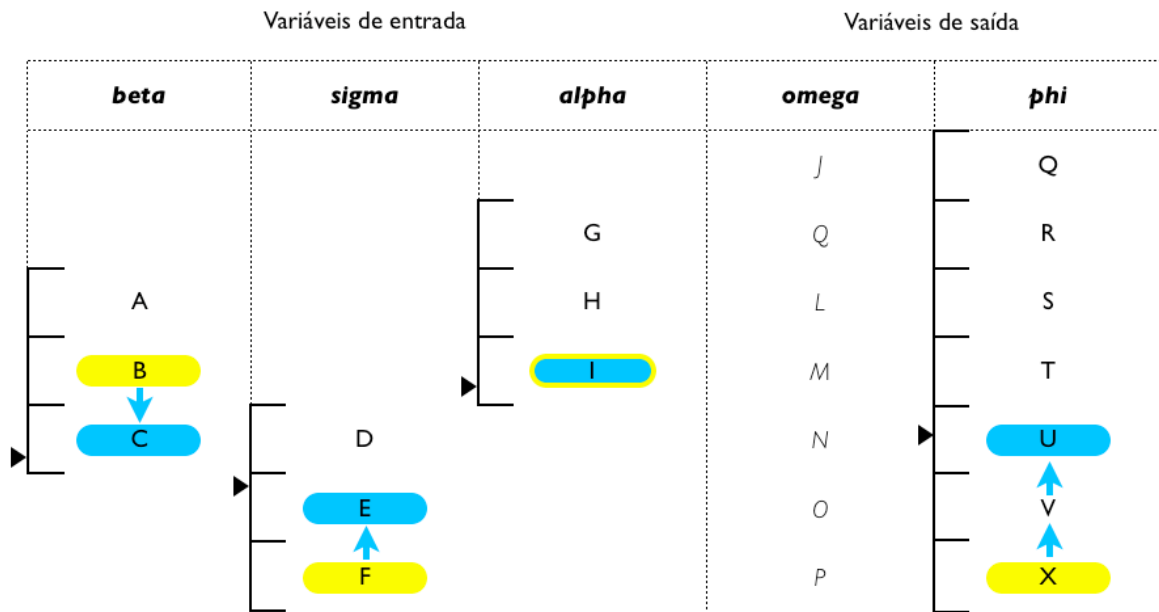


Figura 29 – Exemplo na construção da base de regras

Esta breve demonstração pretende exemplificar os princípios pelos quais será construída a base de regras. De qualquer modo a complexidade inerente nesta base de regras ganha outra amplitude quando programada na *Fuzzy Logic Tool Box*, já que as funções de pertença para cada valor linguístico, “partilham” o seu domínio com outras funções de pertença da mesma variável criando assim resultados com vários graus de pertença para as variáveis de saída. Uma das particularidades mais expressiva da lógica difusa é precisamente a de conseguir partilhar graus de “verdade” num mesmo resultado.

Em relação às várias metodologias para a *defuzzificação*, já discutidas e substanciadas no capítulo 2, optou-se pela metodologia *centroid*. Segundo León e Reveiz, 2009; Sivanandam, *et al.*, 2007; Klir e Yuan, 1995; Cox, 1994, este método é preferível não só pela consistência e equilíbrio inerente a este método, como também pelas suaves variâncias no valor final esperado para o *output*, sendo considerado o método mais comum e de maior utilização entre os vários investigadores e autores na literatura consultada.

3.4 Informatização do Modelo Proposto

Para a informatização do modelo exploratório proposto optou-se pela utilização do módulo de lógica difusa do ambiente computacional *MATLAB*. Para a construção e simulação do modelo de sistema proposto, o FLIS-RM, optámos pela *Fuzzy Logic Toolbox software*, deste ambiente computacional ter sido considerada a ferramenta mais fidedigna e que melhor se adapta as exigências e limitações do nosso problema. Através desta *ToolBox* reunimos as condições e ferramentas necessárias para construir sistemas de inferência difusos dentro da *framework* do *MATLAB*. Esta *ToolBox* fornece ainda interfaces gráficas na óptica do utilizador (*GUI*) e blocos de simulação para desenhar e simular sistemas de lógica difusa (MathWorks, 2009).

Os quatro pontos mencionados: definir variáveis de entrada (*inputs*) e variáveis de saída (*outputs*), criar funções de pertença, criar regras de inferência difusas e simular o sistema de inferência, poderiam ser construídos na linha de comando do *MATLAB*. Contudo, normalmente é mais conveniente usar os gráficos de interface na óptica do utilizador (*GUI*). Neste trabalho, é isso que faremos. Na construção deste modelo, utilizaremos cinco *GUI's*.



Figura 30 – GUI's propostos

Fonte: MathWorks (2009)

A escolha da *Fuzzy Logic Toolbox software* foi justificada em grande parte, por estes interfaces gráficos (GUI) que disponibiliza, facilitando em grande amplitude a complexidade existente na construção do modelo, tornando algumas fases, como por exemplo a construção da base de regras, numa tarefa muito intuitiva e de fácil interpretação e manutenção (Reveiz e León, 2009 e MathWorks, 2009); sendo que a lógica difusa bastante útil quando se pretende modelar sistemas com controladores não lineares, quando não existem limites ou quando existe informação pouco precisa ou demasiado rígida (MathWorks, 2009).

Como o modelo de sistema difuso a desenvolver visa determinar qual a melhor estratégia a implementar para melhor gerir um determinado risco associado às varias áreas funcionais de um projecto, considerou-se para o efeito como variáveis de entrada, os custos, o tempo, os recursos e o impacto de um determinado processo. Assim o nosso objectivo passa por criar mapas, similares ao da figura 31, que relacionem os *inputs*, custo (*cost*), tempo (*time*), recursos (*resources*) e impacto (*impact*), que conforme mencionado anteriormente são as principais variáveis de entrada necessárias para dissipar a duvida do gestor de projectos, com os *outputs*, “*avoidance*”, “*mitigation*”, “*acceptance*”, “*tranference*”, “*exploit*”, “*share*” e “*enhance*”, que são as já anteriormente definidas, respostas estratégicas face ao risco. Este modelo de sistema deverá portanto interligar variáveis de entrada com variáveis de saída e, conjugando essa informação, desenhar soluções práticas de acção estratégica em actividades de projectos em que há grandes incertezas relativamente à melhor estratégia de resposta a adoptar face a determinado risco.

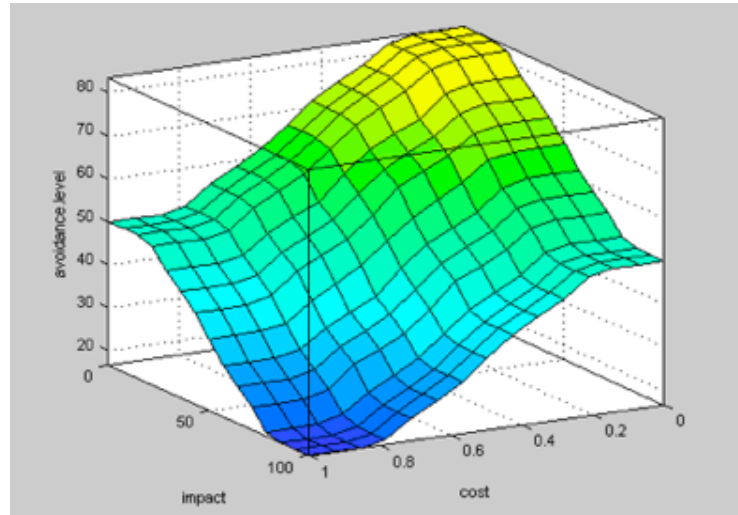


Figura 31 – Gráfico exemplificativo da relação *input-output*

Para resolver o problema fazendo uma aproximação não difusa, ou seja, não utilizando a *Fuzzy Toolbox*, teríamos de resolver o problema através de códigos *MATLAB* que teríamos de escrever, como demonstrado na Figura 32,

```
% Establish constants
lowTip=0.05; averTip=0.15; highTip=0.25;
tipRange=highTip-lowTip;
badService=0; okayService=3;
goodService=7; greatService=10;
serviceRange=greatService-badService;
badFood=0; greatFood=10;
foodRange=greatFood-badFood;

% If service is poor or food is rancid, tip is cheap
if service<okayService,
    tip=(( (averTip-lowTip)/(okayService-badService)) ...
        *service+lowTip)*servRatio + ...
        (1-servRatio)*(tipRange/foodRange*food+lowTip);
% If service is good, tip is average
elseif service<goodService,
    tip=averTip*servRatio + (1-servRatio)* ...
        (tipRange/foodRange*food+lowTip);
% If service is excellent or food is delicious, tip is generous
else
    tip=(( (highTip-averTip)/ ...
        (greatService-goodService)) * ...
        (service-goodService)+averTip)*servRatio + ...
        (1-servRatio)*(tipRange/foodRange*food+lowTip);
end
```

Figura 32 – Código exemplificativo do MATLAB

Fonte: MathWorks (2009)

Este código exemplificativo (MathWorks, 2009) cria uma superfície idêntica ao da figura 31. Este código é parametrizado para que possamos alterar as definições numéricas dos *inputs* e dos *outputs*. O código, obviamente, é de difícil compreensão e provavelmente complicado

para alterar e para manter. De certa maneira, torna-se mais perceptível quando introduzimos parêntesis mas e se pudéssemos utilizar as regras descritas nos parêntesis para desenhar a lógica descrita directamente? É aqui que a lógica difusa e a *Fuzzy Toolbox* se tornam preponderantes.

A lógica difusa mais uma vez justifica ser uma óptima solução porque é fácil formular a resposta criando regras simples através de valores linguísticos. Tentar codificar o modelo em *MATLAB*, sem a *Fuzzy Toolbox*, envolve um grau de dificuldade muito maior e torna-se pouco eficiente quando queremos alterar o código ou simplesmente mantê-lo.

Assim neste estudo, vamos então construir e simular um modelo de sistema de inferência de lógica difusa de raiz tal como proposto e no processo explorar as potencialidades da *Fuzzy Toolbox*.

4. APLICAÇÃO DO FLIS-RM

Os dados, para testar o modelo, foram obtidos através da colaboração de um especialista associados a uma empresa de sistemas fotovoltaicos e que no contexto actual tem tido um papel preponderante em iniciativas relacionadas com alta tecnologia em Portugal. No anexo III, encontram-se tabelados os riscos existentes nas diversas áreas no desenvolvimento de um novo produto. Assinaladas a vermelho no anexo III, foram determinados, por especialistas, os vários casos especiais em que se verifica grande incerteza associada à melhor estratégia a adoptar face a um determinado risco associado a uma área funcional. Para testar o modelo, escolhemos uma das 7 situações que, segundo os peritos que têm acompanhado o desenvolvimento do novo produto em estudo, apresenta grande incerteza quanto à melhor estratégia a adoptar face ao risco previamente identificado, nomeadamente “*Changes in requirements and standarts*” (consultar anexo III – caso de aplicação destacado por 4 setas).

Note-se que o anexo III está segmentado pelas várias áreas funcionais do produto em desenvolvimento. Cada área tem um risco associado. As que estão sombreadas a vermelho determinam os casos especiais em que a equipa de gestão do produto carece de ferramentas auxiliares para dissipar a incerteza e conseguir assim justificar a tomada de decisão em relação à melhor estratégia de resposta a adoptar. Para a aplicação do FLIS-RM a escolha da

situação de risco “*Changes in requirements and standarts*” foi feita de forma aleatória entre os 7 casos possíveis., visto não serem considerados cenários de risco positivo que têm, segundo os peritos, um relevância secundária.

Face ao exposto o objectivo será verificar se a avaliação encontrada pelo modelo teve um comportamento positivo e se constitui uma mais valia quando comparado com a avaliação dos critérios vigentes que determinam e classificam a escolha da melhor estratégia a adoptar face determinado risco, utilizada há bastante tempo e com resultados considerados satisfatórios, porem com limitações bastante relevantes.

4.1. Especificação de Variáveis de Entrada, Saída e Funções de Pertença

O Editor *FIS* (*fuzzy inference system Editor*) controla os parâmetros de maior importância no sistema, tais como, o número de variáveis de entrada (*inputs*) e variáveis de saída (*outputs*). A *Fuzzy Toolbox* não limita o número de *inputs* ou o número de *outputs* permitidos.

No nosso modelo o número de *inputs* é determinado por: “*cost*”, “*resources*”, “*impact*” e “*time*”. Sendo estas as variáveis de entrada necessárias para dissipar incertezas na tomada de decisão na resposta ao risco, o número de *inputs* será então igual a quatro (Aleixo, 2009). Os *outputs* do modelo serão, como já foi abordado, as estratégias a adoptar para mitigar o risco.

O modelo inicial pode definir todas as estratégias possíveis de acção, mas tendo em conta que apenas algumas destas estratégias de resposta ao risco são consideradas como plausíveis quando considerado determinado caso de incerteza vamos caracterizando os *outputs* caso a caso (ver anexo III).

As variáveis do sistema são definidas de acordo com valores linguísticos. Neste modelo de sistema estes valores linguísticos foram discutidos e caracterizados com peritos. Tendo em conta que a literatura consultada não define restrições, foi definido que a nomenclatura abaixo é a que melhor se adapta às necessidades do problema. Foi considerado um equilíbrio intuitivo nos vários valores linguísticos o que permitiu caracterizar cada variável de entrada através de três funções de pertença trapezoidais e triangulares e as variáveis de saída através de sete funções de pertença triangulares.

Assim definimos os valores linguísticos para as variáveis de entrada segundo,

Cost = (*cheap, not so cheap, expensive*)

Resources = (*scarce, average, plenty*)

Impact = (*low, medium, high*)

e as variáveis de saída com valores linguísticos dados por,

Avoidance = (*very low, low, moderate, high, very high, highest*)

Acceptance = (*very low, low, moderate, high, very high, highest*)

Note-se que a variável “*time*” não foi definida já que é usada apenas com o propósito de determinar o tempo *t* para as variáveis “*cost*” e “*resources*”.

Inicialmente por defeito temos um *input* e um *output* no modelo de inferência. Vamos então adicionar as variáveis de entrada e caracterizar os *inputs* que se vão chamar “*cost*”, “*resources*”, e “*impact*”. Para definir os *outputs* vamos então adicionar as variáveis de saída que se vão chamar “*avoidance*”, “*mitigation*”, “*transference*” e “*acceptance*”. Como já foi mencionado o caso seleccionado para estudo (ver anexo III), só considera como estratégias possíveis para fazer face a este risco, “*avoidance*” e “*acceptance*”. O diagrama do sistema inicialmente “*Risk Responce Fuzzy Model - RM*”, é caracterizado como indica a Figura 33. Note-se que a ligação dos outros *outputs* com o motor de inferência do sistema, nomeadamente “*mitigation*” e “*transference*”, estão a tracejado, ou seja, não estão a ser consideradas como variáveis de saída válidas. Ainda na mesma figura, no canto inferior esquerdo temos indicadores usados para modelar as regras de inferência e *defuzzificação*. De acordo com Sivanandam, *et al.* (2007), Klir e Yuan (1995) e Cox (1994) o método de *defuzzificação* mais utilizado é o *centroid*. Assim, optámos por deixar os indicadores nos valores definidos por defeito.

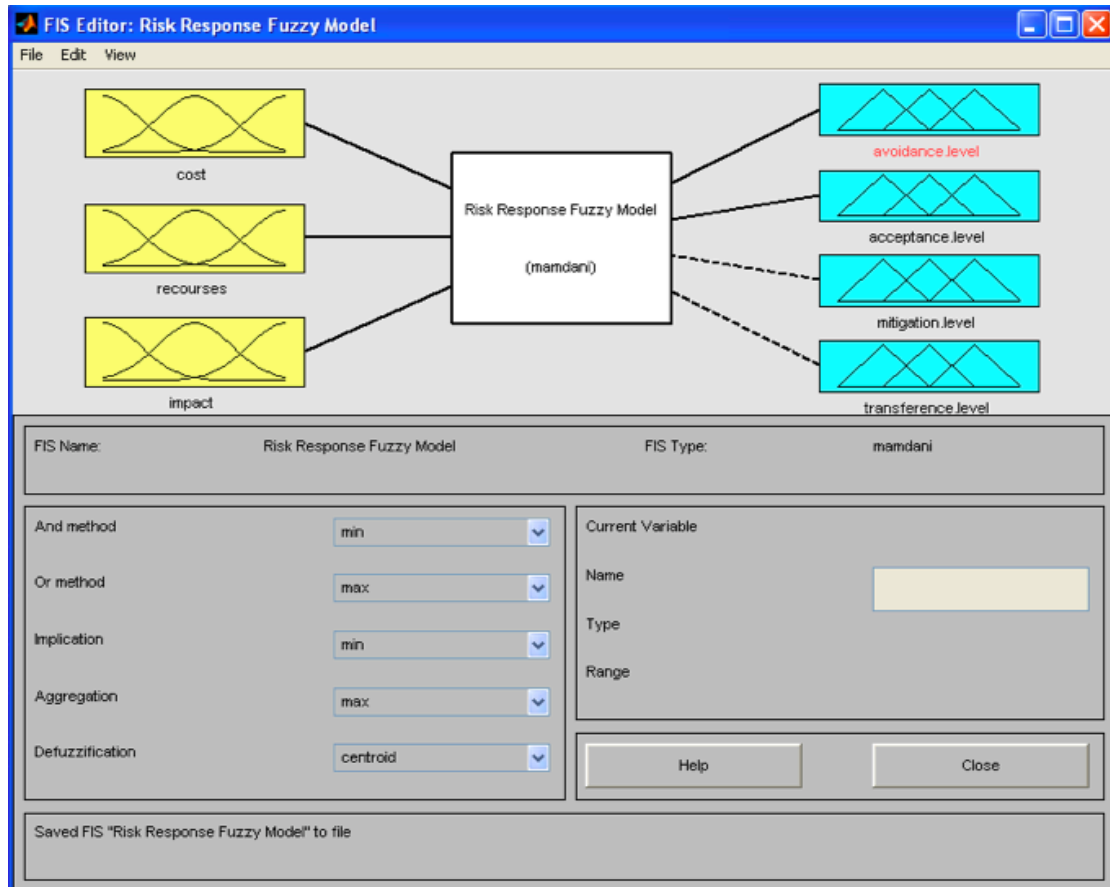


Figura 33 – Definição de *inputs* e *outputs* no Modelo de Sistema de Inferência Difuso

Definidos os *input* e os *outputs* vamos então definir as funções de pertença. Para o fazer, utilizámos outro *GUI* disponível na *Fuzzy Toolbox* chamado de Editor de Funções de Pertença (*membership function editor*). Este permite-nos visualizar e definir todas as funções de pertença associadas ao sistema de inferência difuso (MathWorks, 2009).

Na figura 34, podemos observar que existem onze funções de pertença por defeito na *Fuzzy Toolbox*. Note-se, ainda, que podemos definir funções personalizadas de acordo com o problema a solucionar.

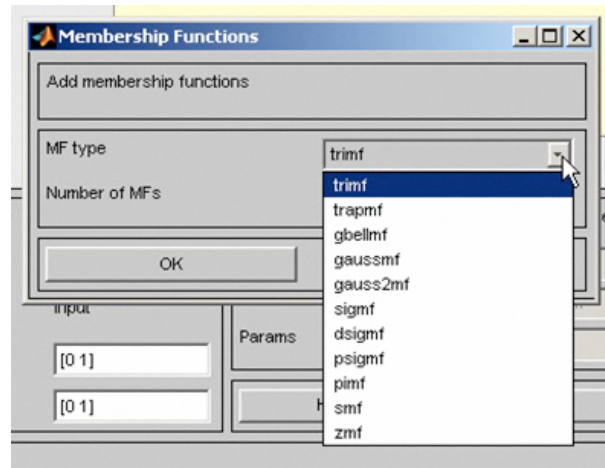


Figura 34 – Nomenclatura das funções de pertença

Fonte: MathWorks (2009)

O campo gráfico, como mostra a figura 35, exhibe todas as funções de pertença da variável que foi seleccionada. Aqui poderemos alterar qualquer atributo da variável.

Vamos então definir as variáveis, “*cost*”, “*resources*”, “*impact*”, “*avoidance*”, “*acceptance*”. A caracterização quantitativa das variáveis do nosso sistema é desenvolvida com base em funções de pertença de conjuntos difusos (Klir e Folger, 1992; Zadeh, 1965).

Comecemos pela variável “*cost*”. Para a variável “*cost*” vamos usar funções de pertença do tipo *trapmf*, ou seja, funções de pertença representadas por números trapezoidais difusos. O número de funções de pertença será 3.

De seguida vamos então defini-las. Primeiro, considerando a Figura 35, o valor da nossa variável “*cost*” vai variar entre 0 e 1 logo vamos alterar o *Range* para $[0,1]$. A primeira função é definida conforme especificado, com um valor linguístico “*cheap*” e os parâmetros, os valores que descrevem a forma desta curva, são ajustados no menu *Params* para $[0 \ 0 \ 0.2 \ 0.5]$. À segunda função de pertença vamos chamar-lhe “*not so cheap*” e é definida segundo os parâmetros $[0.2 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.8]$. A terceira função de pertença chamar-se-á “*expensive*” e é definida segundo os parâmetros $[0.5 \ 0.8 \ 1 \ 1]$.

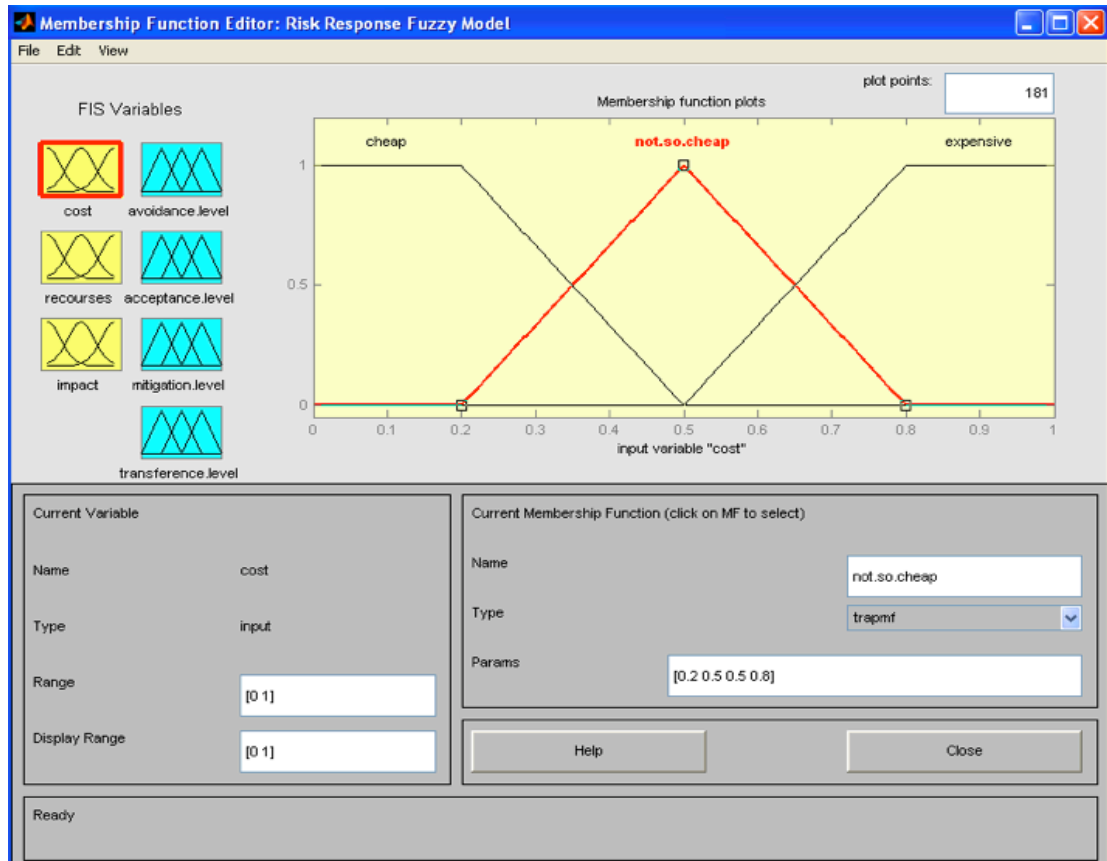


Figura 35 – Funções de pertença para a variável *cost*

Uma vez definida a variável de entrada “*cost*”, vamos fazer o mesmo para as variáveis “*resources*” e “*impact*”, e vamos fazê-lo com funções de pertença representadas por números difusos trapezoidais.

Para a variável “*resources*” determinamos 3 funções de pertença trapezoidais como demonstra a figura 36. Primeiro adaptamos o *range* da variável “*resources*” entre 0 e 100. A primeira função de pertença é definida como “*scarce*” segundo os parâmetros [0 0 20 50]. A segunda função é definida como “*average*” pelos parâmetros [20 50 50 80]. A terceira e última função de pertença chamar-se-á “*plenty*” e é definida segundo [50 80 100 100].

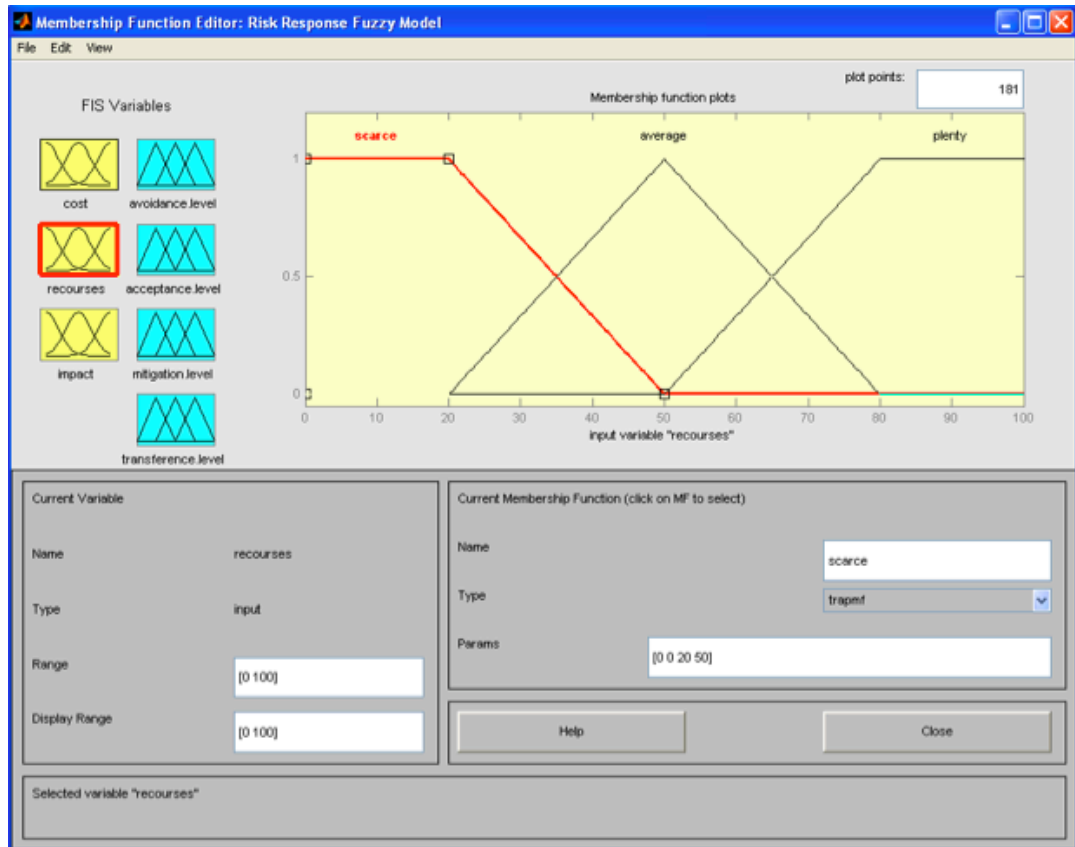


Figura 36 – Funções de pertença para a variável *resources*

Para o terceiro *input*, a variável “*impact*” é definida igualmente através de 3 funções de pertença com números trapezoidais.

Como ilustra a Figura 37, cada função de pertença tem um valor linguístico associado. A função de pertença “*low*” é definida segundo os parâmetros $[0 \ 0 \ 20 \ 50]$. A segunda função de pertença “*medium*” é definida segundo $[20 \ 50 \ 50 \ 80]$. A função de pertença “*high*”, é definida, segundo os parâmetros $[50 \ 80 \ 100 \ 100]$.

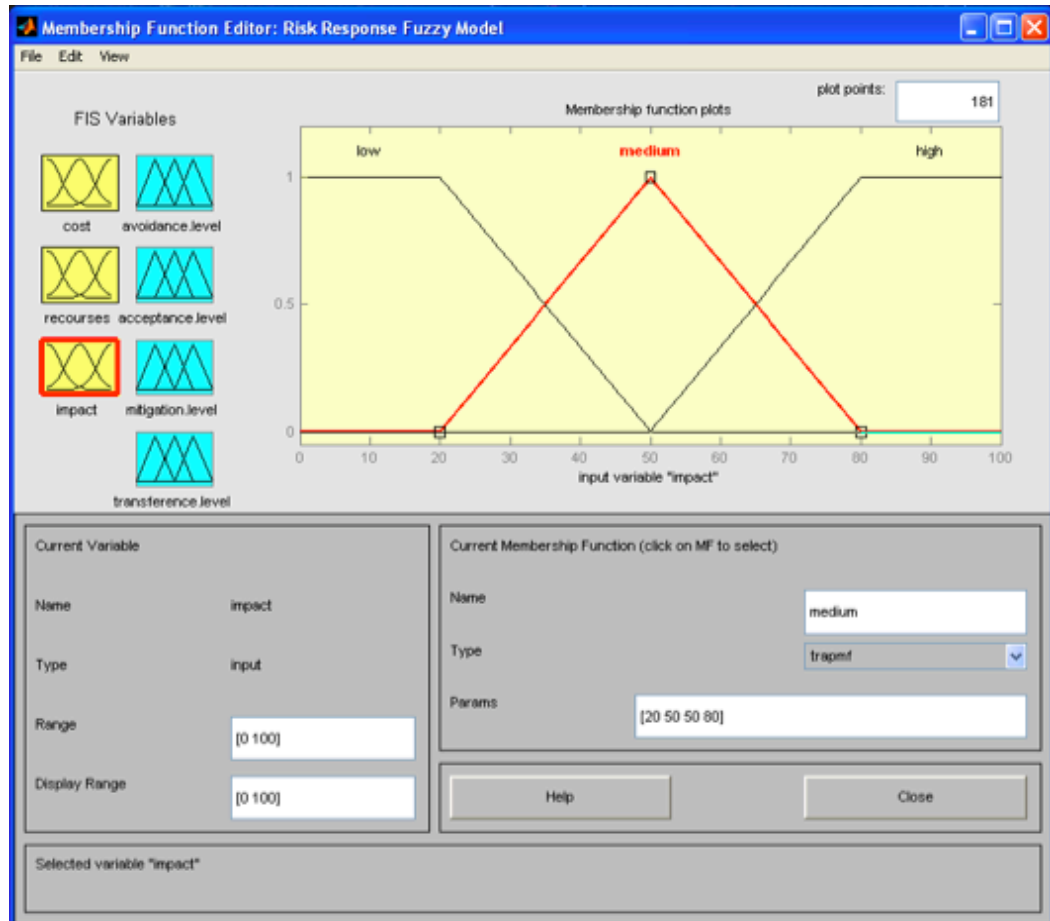


Figura 37 – Funções de pertença para a variável *impact*

De forma análoga, definimos as variáveis “*avoidance*” e “*acceptance*”,

Nesta fase existe a particularidade de, tendo em conta que estamos a determinar qual a melhor estratégia a adoptar para colmatar um risco face a um certo grau de incerteza, só considerarmos e definirmos como *outputs* as estratégias que são realmente consideradas como opções plausíveis para situações de incerteza em que o gestor de projectos não consiga determinar por si só qual a melhor estratégia a adoptar.

No anexo III foram determinados vários cenários (sombreados a vermelho) onde este género de situações especiais ocorre aquando o desenvolvimento de novos produtos.

Por exemplo, na área de *R&D*, existem os seguintes casos especiais associados a riscos já previamente identificados: “*resources needed after installation*”, “*changes in requirements or standarts*”, “*idea alignment with market needs*”, “*obsolete technology*”. Na área de

produção, existe o caso especial “suppliers”. Na área de *management*, existem os casos especiais “schedule expectations”, “availability of skilled staff”.

Para testar o modelo escolhemos um destes casos especiais, na área de R&D, “changes in requirements or standarts” como já foi referido anteriormente. Para este caso os *outputs*, ou seja, as estratégias possíveis são “avoidance” ou “acceptance” (consultar anexo III). Vamos exemplificar para a variável de saída “acceptance”. Esta variável é determinada por 7 funções de pertença com números triangulares difusos. A primeira função de pertença chamar-se-á “lowest” definida por $[0\ 0\ 16.67]$. A segunda função de pertença será “very low” caracterizada pelos parâmetros $[0\ 16.67\ 33.33]$. Da mesma forma as restantes funções de pertença, “low”, “moderate”, “high”, “very high” e “highest” são definidas como a Figura 38 indica.

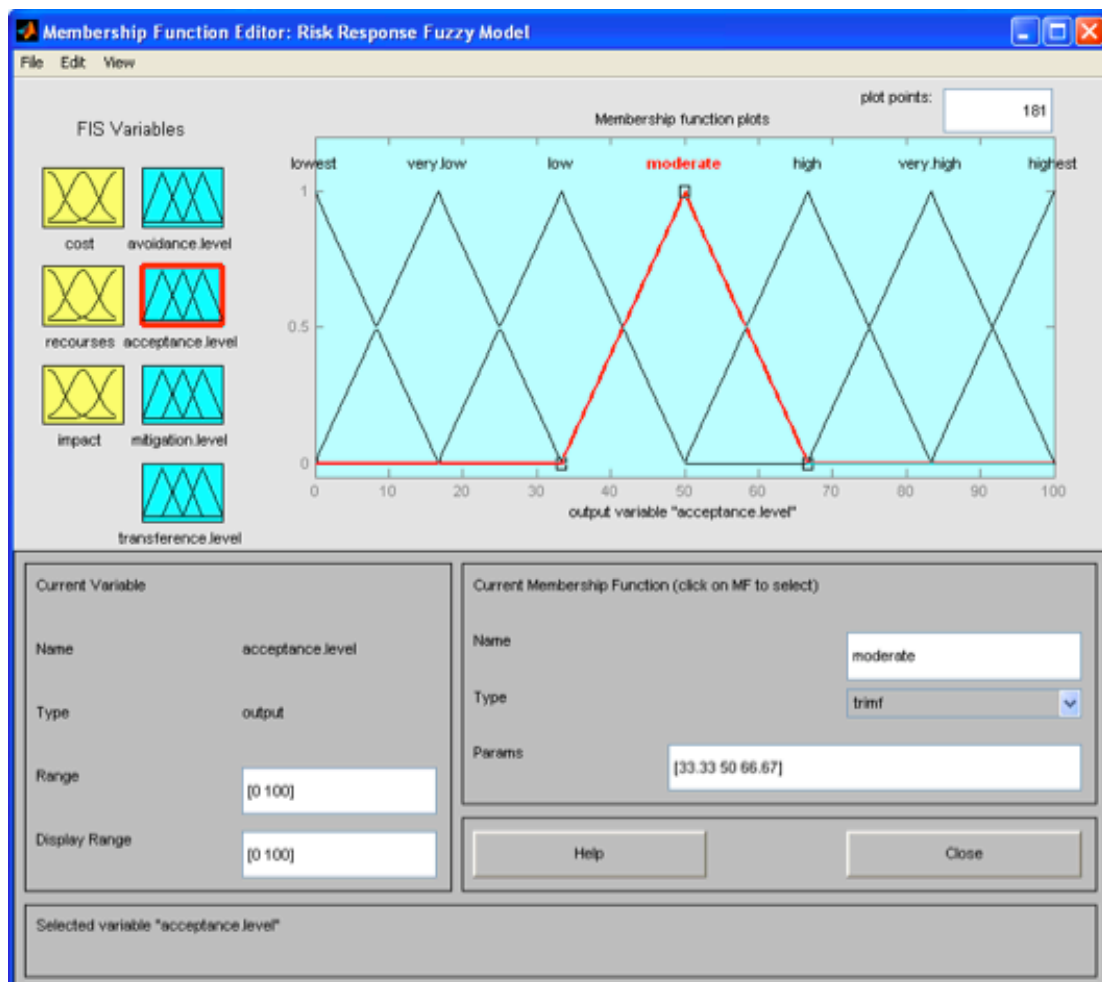


Figura 38 – Funções de pertença para a variável *acceptance*

4.2 Definição das Regras de Inferência Difusas

Quando terminado o segundo passo (definição das funções de pertença de *inputs* e *outputs*), vamos então definir as regras de inferência difusas que correlacionam as variáveis de entrada, os *inputs*, e as variáveis de saída, os *outputs*. Para tal, vamos trabalhar num terceiro gráfico de interface que se chama Editor de Regras (*Rule Editor*).

O Editor de Regras permite-nos construir regras automaticamente seleccionando, de acordo com a Figura 39, um item nas *input boxes*, um item nas *output boxes* e outro item na *connection box*. Estas regras são criadas consoante as variáveis presentes nas funções de pertença, tanto dos *inputs* como *outputs*, seguindo uma linha de acção que melhor interprete o problema em questão.

O objectivo deste conjunto de regras ou base de regras (*Knowledge base*) é dissecar o conhecimento de peritos e codificá-lo para que o FLIS-RM seja capaz de reproduzir as capacidades do raciocínio humano para resolver sistemas complexos (Reveiz e León, 2009).

Neste contexto foi determinado, por um perito, o cenário óptimo de ligação entre as variáveis de entrada e saída ao seu valor linguístico, representado na Tabela 5,

Tabela 5 – Cenário óptimo de correlação entre as variáveis de decisão

Caracterização das Variáveis - Cenário Óptimo											
Risco: Changes in requirements or standarts											
Área Funcional: R&D											
opção de resposta à ameaça:											
Avoidance			Mitigation			Transference			Acceptance		
highest ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼
medium ▼	low ▼	highest ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	highest ▼	medium ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼
opção de resposta à oportunidade:											
Exploit			Share			Enhance			Acceptance		
medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼
medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼
Cost						Resources			Impact		
cheap ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	scarce ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	high ▼
not so cheap ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	plenty ▼	medium ▼	low ▼	medium ▼	low ▼	high ▼
Cost Avaliação						Resources Avaliação			Impact Avaliação		
medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼
medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼	medium ▼	low ▼	highest ▼

Com base neste cenário óptimo construímos uma base de regras que resolvem simultaneamente qualquer combinação de *inputs* e calculam o respectivo nível percentual de aplicabilidade de determinada estratégia face a um risco específico.

Neste sistema concreto, as regras difusas são dadas por uma base de regras já discutida, que se encontra no anexo I e no anexo II.

A qualidade da base de regras de inferência difusa é um ponto fulcral para o valor do modelo. O processo de dissecar o conhecimento de peritos (*expert knowledge*) em regras de inferência implica tempo e uma total compreensão das várias fontes de risco, actividades e processos, tal como a relação não linear e complexa que existe entre eles. Como tal esta base de regras é constituída por um conjunto de 54 regras de inferência difusa.

A literatura consultada não menciona um número óptimo de regras de inferência, mas de forma a atingir um mapa de solução intuitivo, lógico e contínuo para qualquer combinação das variáveis presentes 54 regras de inferência difusa foi o número determinado.

Ao traduzir e adicionar estas regras para o Editor de Regras obtemos um formato idêntico ao da figura 39.

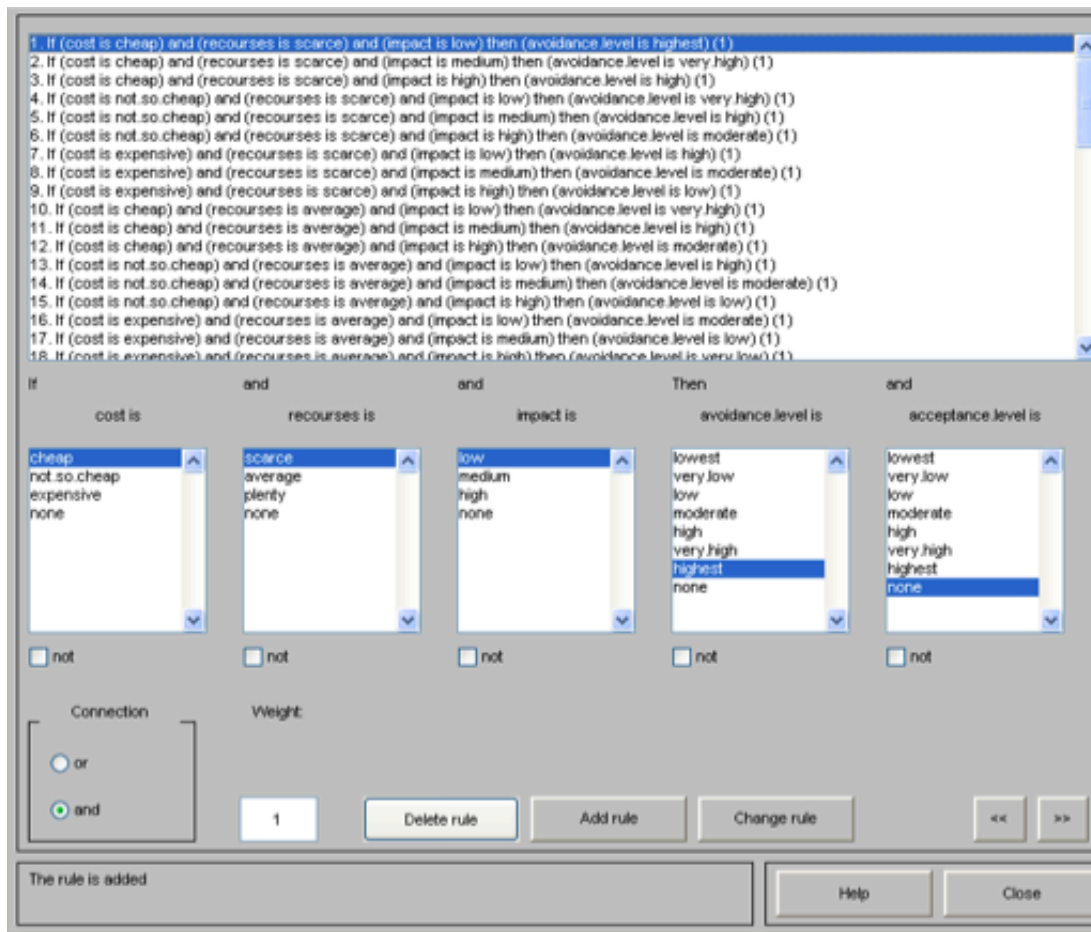


Figura 39 – Parcial da Base de Regras do Modelo FLIS-RM

É de destacar que este interface gráfico simplifica em grande medida a complexidade existente nesta fase, tornando a edição de regras uma tarefa muito intuitiva onde podemos facilmente alterá-las, eliminá-las, introduzir novas regras ou atribuir diferente “peso” às mesmas (MathWorks, 2009). No nosso sistema, todas as regras têm ponderações com o mesmo grau. Podemos também ver as nossas regras de várias maneiras. Em vez do formato verbal que usámos na figura anterior, podemos trabalhar com as regras no formato simbólico (que traduz uma forma mais compacta) ou no formato *indexed* (que é a forma como o computador interpreta as regras).

4.3 Simulação do Modelo e Discussão de Resultados

Partindo destas explicações e parâmetros, estamos em condições de observar e simular o nosso modelo de sistema de inferência de lógica difusa, através de um quinto interface gráfico, o *Rule Viewer*.

Neste interface, cada coluna mostra o conjunto das funções de pertença para um particular *input*, como resulta na Figura 40. Conforme se pode verificar, para este caso, temos 3 funções de pertença para cada variável de entrada “*cost*” “*resources*” e “*impact*” e 7 funções de pertença para cada variável de saída, “*avoidance*”, e “*acceptance*”. Cada função de pertença num determinado conjunto está associada a uma regra particular em mapas que contêm as variáveis dos respectivos *inputs* “*cost*”, “*resources*” e “*impact*” de forma a determinar os valores dos mesmos, ou seja, o número de linhas no interface traduz o número de regras existentes. A primeira linha corresponde à primeira regra, a segunda corresponde à segunda regra e assim sucessivamente.

O delineamento das funções na coluna dos *outputs* mostra como é que as regras são aplicadas às variáveis de *output*. As funções no canto inferior mais à direita mostram como é que os *outputs* das várias funções de pertença são combinados para formar um *output* agregado e um valor *defuzzificado*. A linha encarnada determina um valor *defuzzificado* para as variáveis “*cost*”, “*recourses*”, “*impact*”, “*avoidance*” e “*acceptance*” e traduz a nossa resposta para o nosso problema: saber qual a melhor estratégia a adoptar face ao risco previamente identificado “*Changes in requirements or standarts*”. Podemos deslizar as linhas encarnadas conforme as exigências do problema em questão, variando assim os valores de entrada dos nossos *inputs*, gerando, conseqüentemente, valores de resposta diferentes para os *outputs*. Os valores numéricos dos *inputs* e dos *outputs* são demonstrados como representado na figura.

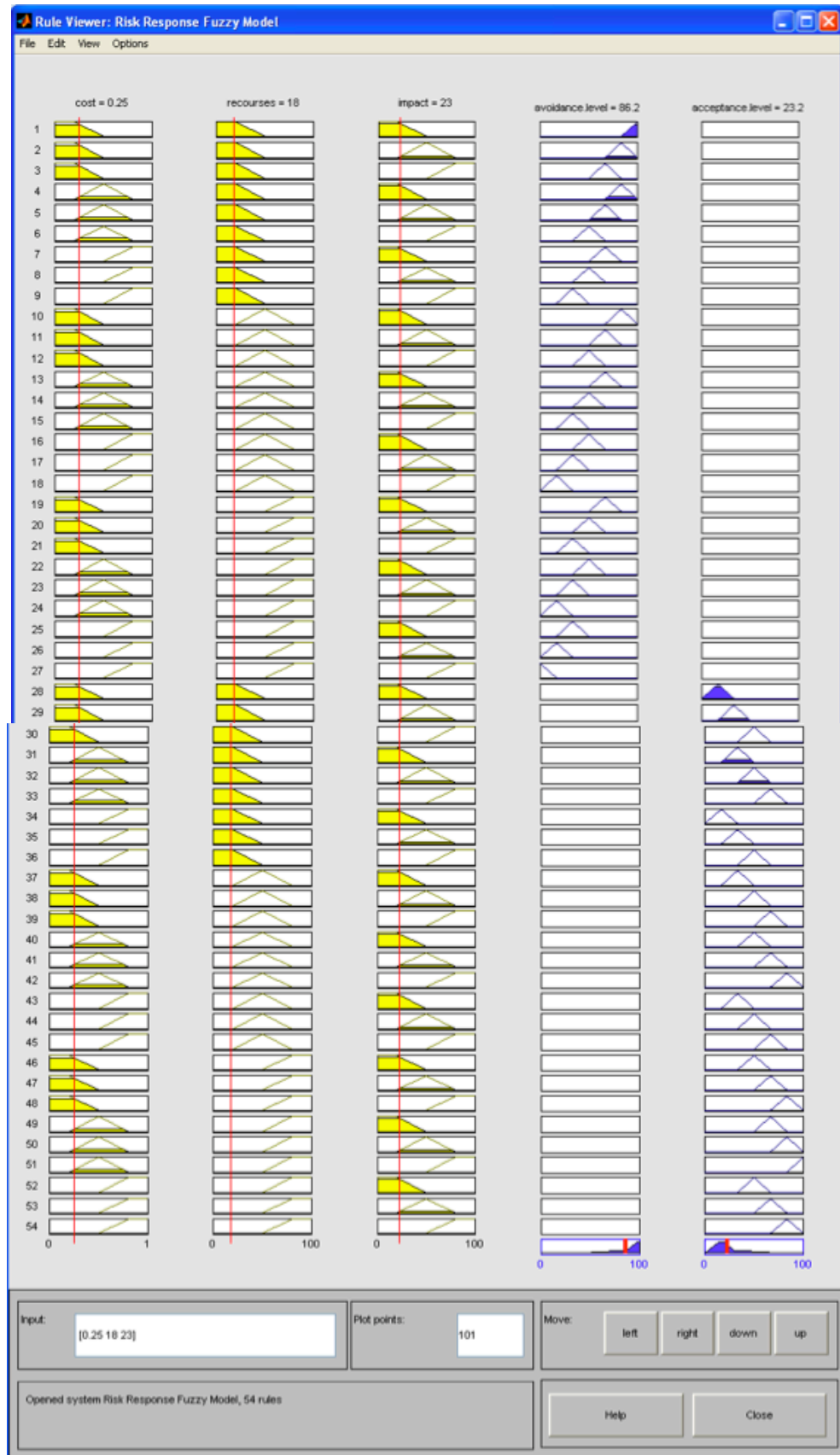


Figura 40 – Resultado de uma aplicação do Modelo FLIS-RM

Os valores das funções de pertença para os nossos *inputs* são representados graficamente através das áreas a amarelo. Podemos também introduzir os valores para os *inputs* explicitamente na *input box* e testar o nosso sistema de inferência de lógica difusa dessa maneira.

Na Figura 40, atrás apresentada, para os parâmetros $[0.25 \ 18 \ 23]$, ou seja, para um valor da variável de entrada “*cost*” de $x=0.25$ (em que considera um grau de pertença de $\mu(x) = 0.75$ para a função de pertença “*cheap*” e $\mu(x) = 0.25$ para a função de pertença “*not so cheap*”) para um valor da segunda variável de entrada “*resources*” de $x=18$ unidades (com um grau de pertença de $\mu(x) = 1$ para a função de pertença “*scarce*”) e para um impacto de 23% (com grau de pertença de $\mu(x) = 0.8$ para a função de pertença “*low*” e $\mu(x) = 0.2$ para a função de pertença “*medium*”), a nossa resposta em valores *defuzzificados* para um determinado instante t do projecto, considerando as limitações das variáveis de decisão e os objectivos a atingir, para este caso, é implementação da estratégia “*avoidance*” com um grau de 86.2 e implementação da estratégia “*acceptance*” com um grau de 23.2, isto para um domínio inicialmente definido de $[0, 100]$. Fica, assim, claro qual a estratégia a adaptar segundo o modelo proposto. É esta a solução efectiva ao nosso problema.

No modelo, podemos ainda analisar o nosso sistema de inferência de lógica difusa através de outro interface gráfico da *Fuzzy Toolbox*, o *surface viewer*. Através do *surface viewer*, visualizamos uma superfície que correlaciona e faz um mapeamento dos *inputs* introduzidos e os *outputs* desejados. Para qualquer sistema de inferência difuso com mais de dois *inputs*, podemos escolher quaisquer dois *inputs* e um qualquer *output* para serem delineados (ou *plotados*). Para o caso particular que estamos a estudar, vamos *plotar* os *inputs* “*cost*”, “*resources*” e “*impact*” em função das estratégias “*avoidance*” e “*acceptance*” e os seus níveis de recomendação. Os gráficos que se seguem caracterizam a correlação *input-output*. Através do *surface viewer* podemos confirmar aquela que é a melhor estratégia a adoptar em casos especiais em que o gestor de projectos está perante cenários que envolvem elevados graus de indecisão.

A Figura 41 caracteriza a relação não linear que existe entre as variáveis “*resources*”, “*impact*” e “*acceptance*”, onde qualquer combinação entre estas resulta num ponto único na

superfície. Intuitivamente, se um invento acontece num projecto com um “*high*” (“*low*”) “*impact*” e “*high*” (“*low*”) “*resources*” a recomendação da estratégia “*acceptance*” é determinada como “*highest*” (“*lowest*”).

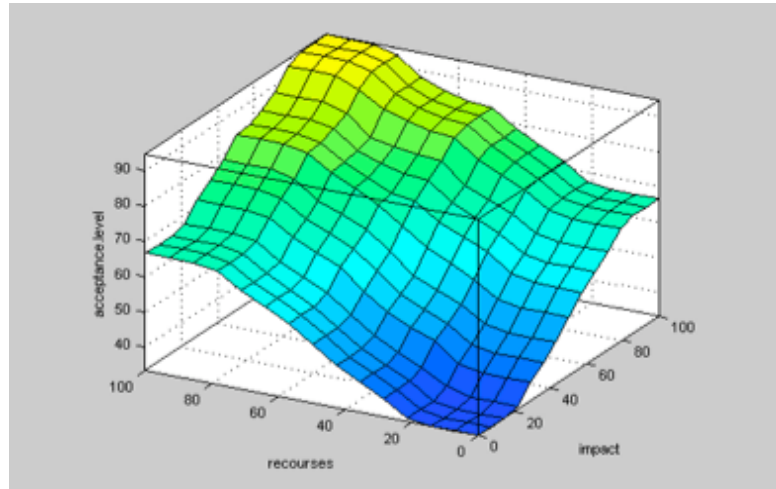


Figura 41 - Mapa de superfície *resources versus impact versus acceptance*.

A Figura 42 exhibe a variável “*acceptance*” como uma combinação de “*impact*” e “*cost*”. Novamente, verificamos a relação não linear entre as variáveis.

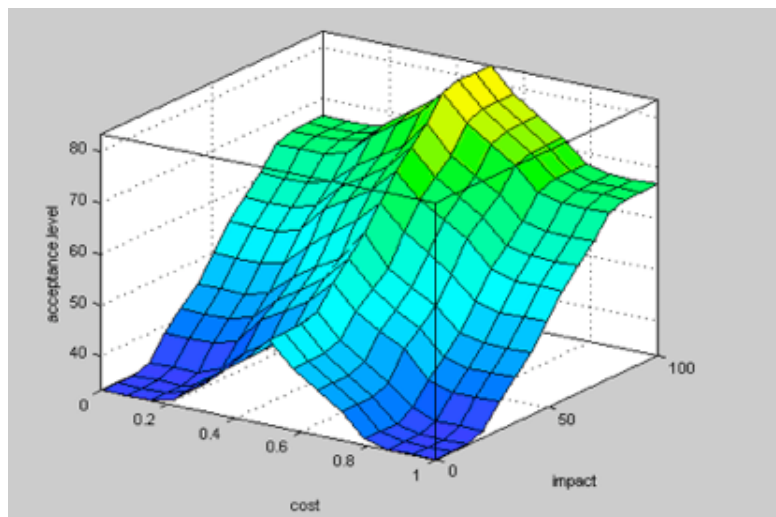


Figura 42 – Mapa de superfície *cost versus impact versus acceptance*.

Comparando a Figura 41 com a Figura 42 podemos distinguir os diferentes efeitos em mudanças em “*cost*” e “*resources*” na variável *acceptance* de acordo com o conhecimento de peritos.

A Figura 43 exibe a combinação de variáveis em falta para a estratégia “*acceptance*”.

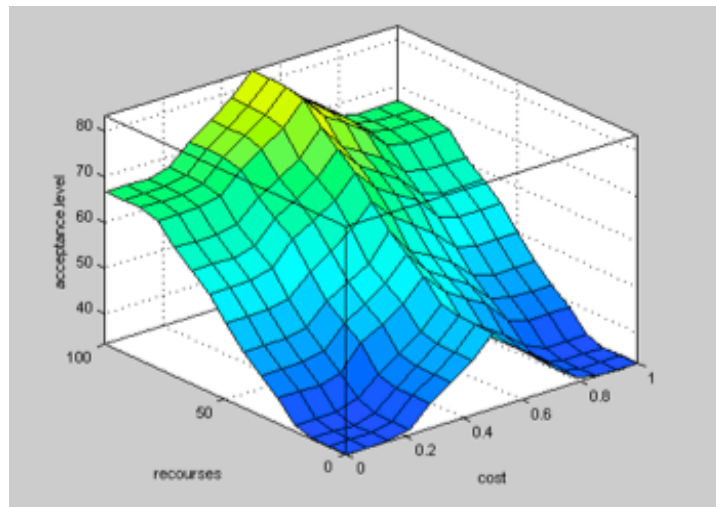


Figura 43 – Mapa de superfície *resources versus cost versus acceptance*.

Nas Figuras 44, 45 e 46 seguintes, podemos visualizar a combinação das variáveis existentes mas em relação ao segundo *output*, “*avoidance*”. Como se pode verificar, os gráficos mantêm-se bastante intuitivos e continua a existir um grau de não linearidade.

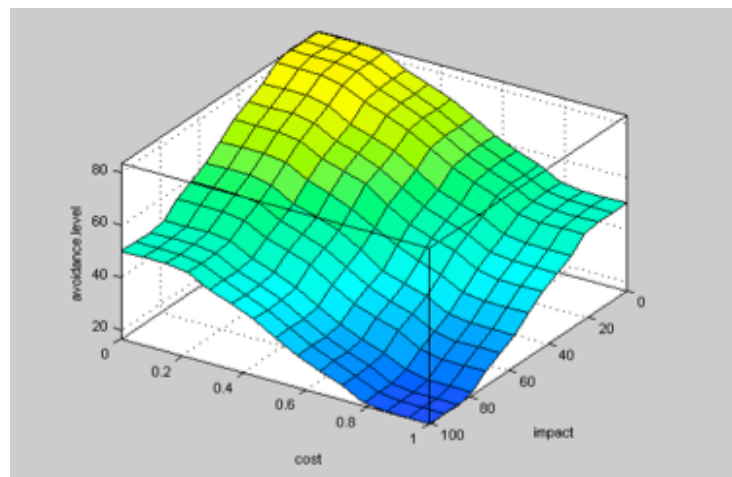


Figura 44 – Mapa de superfície *cost versus impact versus avoidance*.

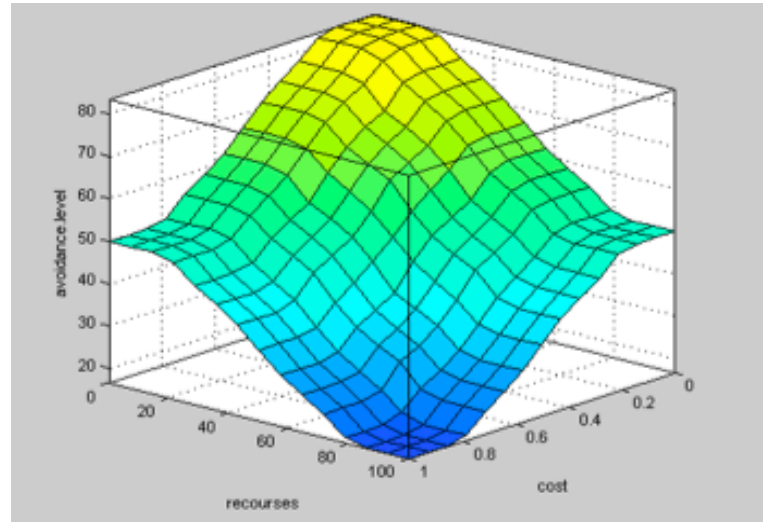


Figura 45 – Mapa de superfície *cost versus resources versus avoidance*.

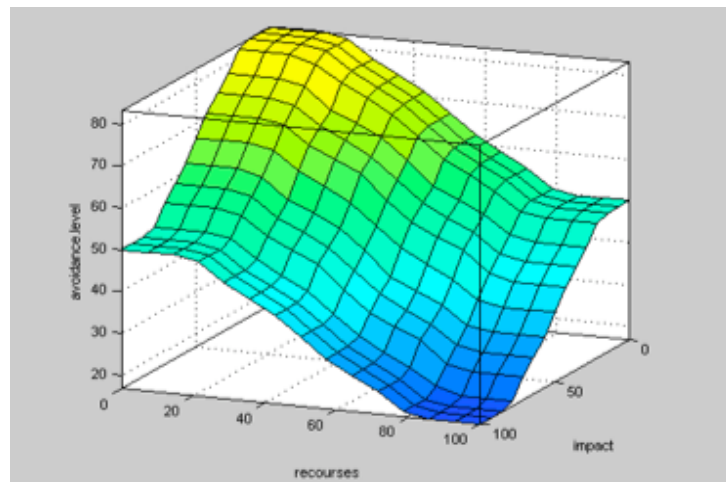


Figura 46 – Mapa de superfície *resources versus impact versus avoidance*.

Numa análise final, o FLIS proposto considera qualquer nível das variáveis definidas e faz a sua análise simultaneamente de forma a inferir a correspondência conjunta das mesmas para um indicador “*avoidance*” ou “*acceptance*”. Isto é o mesmo que a construção de um espaço de quatro dimensões onde os vários níveis das variáveis “*cost*”, “*impact*” e “*resources*” resultam nos indicadores “*avoidance*” ou “*acceptance*” – um procedimento bastante complexo. Desta forma o modelo é capaz de modelar a não linearidade e a complexidade inerente á tarefa de avaliar qual a melhor estratégia a adoptar face determinado risco.

5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Como apresentado neste trabalho, a avaliação da melhor estratégia a adoptar para mitigar o risco associado às várias *actividades* de um projecto requer modelos que não dependam necessária e exclusivamente de aproximações quantitativas tradicionais. O uso do FLIS é uma alternativa que compensa implementar, já que possibilita explorar a razão (lógica) humana e o conhecimento de peritos para articular *inputs* quantitativos e qualitativos para a resolução de sistemas não lineares e com múltiplos factores, que caracteriza a gestão do risco.

Independentemente da habilidade do FLIS-RM de ultrapassar algumas das dificuldades de avaliação de aproximações tradicionais, o modelo proposto permite a uma empresa identificar, monitorizar e avaliar as decisões tomadas na gestão do risco *ex-ante* (procedimentos, controle, etc.)

Uma das grandes vantagens da concepção deste sistema encontra-se no mecanismo de auto-regulação, onde as variáveis podem ser, de uma forma dinâmica, ajustadas de acordo com os eventos que ocorram ou com a alteração de percepções por parte da equipa envolvida no processo. Assim maus julgamentos na construção do sistema para aferir a melhor estratégia podem ser, atempada e dinamicamente, corrigidos de acordo com a “realidade” usando um mecanismo de *feedback* positivo na implementação do FLIS-RM.

A aplicação da teoria da lógica difusa demonstrou ser bastante pertinente na avaliação da melhor estratégia a adoptar face determinado risco associado às várias actividades de um projecto. Esta conclusão baseia-se em três aspectos: quantidade de variáveis subjectivas envolvidas, fácil modelação de problemas cujas teorias clássicas apresentam deficiências e a flexibilidade e adaptabilidade em assimilar novos conhecimentos.

A lógica *difusa* permite lidar de forma mais eficaz com a gestão de modelos e sistemas complexos, principalmente na gestão de ambientes incertos. Nos últimos anos, temos vindo a assistir a uma utilização combinada entre esta lógica das variáveis difusas e as Redes Neurais, que possuem características de adaptação e aprendizagem. É com base nesta nova espécie de controladores neurodifusos que surgem cada vez mais sistemas adaptativos e

inteligentes que poderão, num futuro próximo, não apenas ajudar a decidir, mas também eles próprios tomarem as decisões, com base na percepção da envolvente.

Finalmente, justifica-se mencionar alguns pontos mais práticos na implementação do sistema.

- Primeiro, apesar destes métodos serem cada vez mais utilizados em engenharia a verdade é que, as equipas de gestão tendem a subestimar uma aproximação fundada numa base de conhecimentos de terceiros que convertem, como peritos, conhecimento simbólico em indicadores quantitativos. Este facto resulta naturalmente de um certo cepticismo em relação à implementação do sistema. Com efeito, os gestores tendem a optar por estatísticas e métodos com base em regressões quantitativas em detrimento de métodos com base em conhecimento perito (*experts' knowledge*). Esta questão pode ser ultrapassada com treino apropriado sobre o modelo aqui em exposição e outros modelos que lidam igualmente com conhecimento perito (*e.g. Black-Litterman portfolio model*).
- Em segundo, tendo em conta que o modelo se apoia em “auto avaliações”, o modelo depende da qualidade e da frequência da informação que é providenciada pela equipa de gestão. De forma a assegurar alta qualidade de informação, a implementação do modelo deve ser acompanhada requerendo para o efeito treino e suporte por parte do gestor de risco do projecto, que deverá ser capaz de analisar os resultados e identificar problemas relacionados com homogeneidade de critérios.
- Terceiro e último ponto, como mencionado na literatura consultada, a qualidade da base de regras é um ponto fulcral para o valor do modelo. O processo de dissecar o conhecimento perito em regras de inferência implica tempo e uma total compreensão das várias fontes de risco, *actividades* e processos, tal como a relação não linear e complexa que existe entre elas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEIXO, G. G. & TENERA, B. A. (2009) New product development process on High-Tech innovation life cycle. International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, Venice.
- AGUIAR H. & OLIVEIRA, J. (1999) Lógica Difusa – Aspectos práticos e aplicações, Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- BACCARINI, D., SALM, G. & LOVE, P. E. D. (2004) Management of risks in information technology projects. *Industrial Management & Data Systems*, 104, 286-295.
- BOER, F. P. (2002) Financial management of R&D. *Research-Technology Management*, 45, 23-35.
- BOJADVIEZ, G. & BOJADVIEZ, M. (2007) Fuzzy Logic for Business, Finance and Management, Advances in Fuzzy Systems: Applications and Theory, Vol.23, Second Edition, World Scientific.
- CORMICAN, K. & O'SULLIVAN, D. (2004) Auditing best practice for effective product innovation management. *Technovation*, 24, 819-829.
- COX, E. (1994) The Fuzzy Systems Handbook, AP Professional.
- CHEN, S. & HWANG, C. (1992) Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer-Verlag, Germany.
- CRUZ, M. (2002) Modeling, Measuring and Hedging Operational Risks, John Wiley & Sons.
- DIMITROVA, N.S., MARKOV, S.M. & POPOVO, E.D. (1992) Extended Interval Arithmetics: New Results and Applications. Computer Arithmetic and Enclosure Methods, Atanasova, L., Herzberger, J. (Eds.), Elsevier Sci. Publishers B. V., p. 225-232.

EISENHARDT, K. M. & MARTIN, J. A. (2000) Dynamic capabilities: What are they? *Strategic Management Journal*, 21, 1105-1121.

EVANS, G.W., KARWOWSKI, W. & WILHELM, M.R. (1989) Applications of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier.

GAINES, B.R. & KOHOUT, L.J. (1977) The fuzzy decade: a bibliography of fuzzy systems and closely related topics. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 9, No.1, 1-68.

GARDNER, D. T. & BUZACOTT, J. A. (1999) Hedging against uncertainty in new technology development: The case of direct steelmaking. *Ieee Transactions on Engineering Management*, 46, 177-189.

HILLSON, David (2001a) Effective Strategies for Exploiting Opportunities. Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium. Nashville, USA 1-10.

JONES, E. (2000) "Risk management – Why?," *PM Netw.*, vol. 14, no. 2, pp. 39-42.

KAHRAMAN, C. (2006) Fuzzy Applications in Industrial Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

KANDEL, A. & YAGER, R. (1979) A 1979 bibliography on fuzzy sets, their applications, and related topics, in *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, Gupta, M.M., Ragade, R. K. and Yager, R. R. (eds.), North-Holland: Amsterdam, 621-744.

KANDEL, A. (1986) Fuzzy Mathematical Techniques with Applications, Addison Wesley: Reading, MA.

KAUFMANN, A. & GUPTA, M.M. (1988) Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science, North-Holland: Amsterdam.

KOSKO, B., (1996) Fuzzy Engineering, Prentice Hall, 1st edition, ISBN: 0131249916.

- KLIR, G. & FOLGER, T. (1992) Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information. Prentice Hall.
- KLIR, G. & YUAN B. (1995) Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, Prentice Hall.
- KARWOWSKI, W. & EVANS, G. W. (1986): Fuzzy concepts in production management research: A review. *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 1, 129-147.
- KNIGHT, K. E. (1967) Descriptive model of intra-firm innovation process. *Journal of Business*, 40, 478-496.
- KEIZER, J.A. & VOS, J. P. (2003) Diagnosing risks in new product development. Eindhoven Centre for Innovation Studies, working Paper 03.11.
- KEIZER, J. A. & HALMAN, J. I. M. (2007) Diagnosing risk in radical innovation projects. *Research-Technology Management*, 50, 30-36.
- LAI, Y. J. & HWANG, C. L. (1994) Fuzzy Multiple Objective Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag: Berlin.
- MAYLOR, H. (2006) Project Management. Third Edition by Pearson Education, Ltd. Delhi.
- MAMDANI, E.H. & ASSILIAN, S. (1975) An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13.
- MAMDANI, E.H. (1976) Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 8, pp. 669-678.
- MAMDANI, E.H. (1977) Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 26, No. 12, pp. 1182-1191.
- MATHWORKS (2009) Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, The Mathworks, March.

MAIERS, J. & SHERIF, Y.S. (1985) Applications of fuzzy set theory. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 15, No. 1, 175-189.

MCNEILL, M. & THRO, E. (1994) Fuzzy Logic: A Practical Approach, AP Professional.

MIGUEL, A (2009) Gestão Moderna de Projectos. FCA – Editora de Informática, LDA, Lisboa, Portugal.

MOORE, R.E. (1979) Methods and Applications of Interval Analysis. SIAM Studies in Applied Mathematics, SIAM, Philadelphia.

MOORE, R.E. (1996) Interval Analysis. Prentice Hall Series in Automatic Computation. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

NUNES, I.M. (2002) Modelo de Sistema Pericial Difuso Para Apoio à Análise Ergonómica de Postos de Trabalho. Tese de Doutoramento – Departamento de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

PEDRYCZ, W. & GOMIDE, F. (1998) An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design. MIT Press, ISBN: 0262161710.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2008), A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide, 3rd ed. Newtown Square, PA: PMI.

QIN, H. & WANG, Q. X. (2006) Radical innovation or incremental innovation: Strategic decision of technology-intensive firms in the PRC. *2006 IEEE International Engineering Management Conference*, 327-331.

RENTERÍA, A.R. (2006) Fuzzy probability estimation from imprecise data. P. 30-42. Doctoral Thesis – Departamento de Engenharia Eléctrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Brasil.

REVEIZ, A. & LEÓN, C. (2009) Operational Risk Management using a Fuzzy Logic Inference System.

ROYER, P. (2000) Risk management: The undiscovered dimension of project management, *Project Manag. J.*, vol.31, no. 1, pp 6-13.

SIVANANDAM, S.N., SUMATHI, S. & DEEPA, S.N. (2007) Introduction to Fuzzy Logic using MatLab, Springer.

SIMON, P., HILLSON, D. & NEWLAND, K., (1997) Project Risk Analysis and Management guide. Association for Project Management.

SMITH, P. G. (1999) Managing risk as product development schedules shrink. *Research-Technology Management*, 42, 25-32.

SHAH, S. (2002) Measuring and Managing Operational Risks, Towers Perrin-Tillinghast.

SHAH, S. (2003) Measuring Operational Risks using Fuzzy Logic Modeling, Towers Perrin-Tillinghast.

TAH, J.H.M. & CARR, V. (2000) A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic. *Construction Management and Economics* 18, p491-500.

TEECE, D. J., PISANO, G. & SHUEN, A. (1997) Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18, 509-533.

ZADEH, L. A. (1965) Fuzzy Sets. in *Information and Control*, v. 8, p. 338-353.

ZADEH, L.A. (1978) Fuzzy sets as a basis for theory of possibility, in *Fuzzy Sets and Systems*, p. 3-28.

ZADEH, L. A. (1983b) The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems, in *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 11, pp. 199-227.

ZADEH, L. A. (1988) Fuzzy Logic, in *IEEE – Computer*, Vol. Abr, pp. 83-93.

ZADEH, L. A. (1996) Fuzzy Logic = Computing with words, in *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 4, pp. 103-111.

ZIMMERMANN, H-J. (1991) Fuzzy Set Theory and its Applications. Kluwer Academic Publishers, 2nd ed.

ZIMMERMANN, H. J. (1983) Using fuzzy sets in operational research. *European Journal of Operational Research*, Vol. 13, No. 3, 201-216.

ZIMMERMANN, H. J. (1996) Fuzzy Set Theory and Its Applications, Kluwer, Massachusetts.

ANEXO I:

Base de Regras do Modelo de Inferência de Lógica Difusa no formato verbal

(1) IF (cost is cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is low) THEN (acceptance is highest)

(2) IF (cost is cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is medium) THEN (acceptance is very high)

(3) IF (cost is cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is high) THEN (acceptance is high)

(4) IF (cost is not so cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is low) THEN (acceptance is very high)

(5) IF (cost is not so cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is medium) THEN (acceptance is high)

(6) IF (cost is not so cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is high) THEN (acceptance is moderate)

(7) IF (cost is expensive) AND (resources is scarce) AND (impact is low) THEN (acceptance is high)

(8) IF (cost is expensive) AND (resources is scarce) AND (impact is medium) THEN (acceptance is moderate)

(9) IF (cost is expensive) AND (resources is scarce) AND (impact is high) THEN (acceptance is low)

(10) IF (cost is cheap) AND (resources is average) AND (impact is low) THEN (acceptance is very high)

(11) IF (cost is cheap) AND (resources is average) AND (impact is medium) THEN (acceptance is high)

(12) IF (cost is cheap) AND (resources is average) AND (impact is high) THEN (acceptance is moderate)

(13) IF (cost is not so cheap) AND (resources is average) AND (impact is low) THEN (acceptance is high)

(14) IF (cost is not so cheap) AND (resources is average) AND (impact is medium) THEN (acceptance is moderate)

(15) IF (cost is not so cheap) AND (resources is average) AND (impact is high) THEN (acceptance is low)

(16) IF (cost is expensive) AND (resources is average) AND (impact is low) THEN (acceptance is moderate)

(17) IF (cost is expensive) AND (resources is average) AND (impact is medium) THEN (acceptance is low)

(18) IF (cost is expensive) AND (resources is average) AND (impact is high) THEN (acceptance is very low)

(19) IF (cost is cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is low) THEN (acceptance is high)

(20) IF (cost is cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is medium) THEN (acceptance is moderate)

(21) IF (cost is cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is high) THEN (acceptance is very low)

(22) IF (cost is not so cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is low) THEN (acceptance is moderate)

(23) IF (cost is not so cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is medium) THEN (acceptance is low)

(24) IF (cost is not so cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is high) THEN (acceptance is very low)

(25) IF (cost is expensive) AND (resources is plenty) AND (impact is low) THEN (acceptance is low)

(26) IF (cost is expensive) AND (resources is plenty) AND (impact is medium) THEN (acceptance is very low)

(27) IF (cost is expensive) AND (resources is plenty) AND (impact is high) THEN (acceptance is lowest)

Base de Regras do Modelo de Inferência Fuzzy

Numero da Regra	Custos	Tempo	Recursos	Impacto	Avoidance level(*)
1	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>low</i>	<i>highest</i>
2	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>medium</i>	<i>very high</i>
3	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
4	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>low</i>	<i>very high</i>
5	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
6	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>high</i>	<i>moderate</i>
7	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>low</i>	<i>high</i>
8	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>medium</i>	<i>moderate</i>
9	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>scarse</i>	<i>high</i>	<i>low</i>
10	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>low</i>	<i>very high</i>
11	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
12	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>high</i>	<i>moderate</i>
13	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>low</i>	<i>high</i>
14	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>medium</i>	<i>moderate</i>
15	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>high</i>	<i>low</i>
16	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>low</i>	<i>moderate</i>
17	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
18	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>average</i>	<i>high</i>	<i>very low</i>
19	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>low</i>	<i>high</i>
20	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>medium</i>	<i>moderate</i>
21	<i>cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>high</i>	<i>low</i>
22	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>low</i>	<i>moderate</i>
23	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
24	<i>not so cheap</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>high</i>	<i>very low</i>
25	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
26	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>medium</i>	<i>very low</i>
27	<i>expensive</i>	<i>instante t</i>	<i>plenty</i>	<i>high</i>	<i>lowest</i>

ANEXO II

Base de Regras do Modelo de Inferência de Lógica Difusa no formato verbal

-
- (1) IF (cost is cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is low) THEN (acceptance is very low)
(2) IF (cost is cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is medium) THEN (acceptance is low)
(3) IF (cost is cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is high) THEN (acceptance is moderate)
(4) IF (cost is not so cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is low) THEN (acceptance is low)
(5) IF (cost is not so cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is medium) THEN (acceptance is moderate)
(6) IF (cost is not so cheap) AND (resources is scarce) AND (impact is high) THEN (acceptance is high)
(7) IF (cost is expensive) AND (resources is scarce) AND (impact is low) THEN (acceptance is very low)
(8) IF (cost is expensive) AND (resources is scarce) AND (impact is medium) THEN (acceptance is low)
(9) IF (cost is expensive) AND (resources is scarce) AND (impact is high) THEN (acceptance is moderate)
(10) IF (cost is cheap) AND (resources is average) AND (impact is low) THEN (acceptance is low)
(11) IF (cost is cheap) AND (resources is average) AND (impact is medium) THEN (acceptance is moderate)
(12) IF (cost is cheap) AND (resources is average) AND (impact is high) THEN (acceptance is high)
(13) IF (cost is not so cheap) AND (resources is average) AND (impact is low) THEN (acceptance is moderate)
(14) IF (cost is not so cheap) AND (resources is average) AND (impact is medium) THEN (acceptance is high)
(15) IF (cost is not so cheap) AND (resources is average) AND (impact is high) THEN (acceptance is very high)
(16) IF (cost is expensive) AND (resources is average) AND (impact is low) THEN (acceptance is low)
(17) IF (cost is expensive) AND (resources is average) AND (impact is medium) THEN (acceptance is moderate)
(18) IF (cost is expensive) AND (resources is average) AND (impact is high) THEN (acceptance is high)
(19) IF (cost is cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is low) THEN (acceptance is moderate)
(20) IF (cost is cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is medium) THEN (acceptance is high)
(21) IF (cost is cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is high) THEN (acceptance is very high)
(22) IF (cost is not so cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is low) THEN (acceptance is high)
(23) IF (cost is not so cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is medium) THEN (acceptance is very high)
(24) IF (cost is not so cheap) AND (resources is plenty) AND (impact is high) THEN (acceptance is highest)
(25) IF (cost is expensive) AND (resources is plenty) AND (impact is low) THEN (acceptance is moderate)
(26) IF (cost is expensive) AND (resources is plenty) AND (impact is medium) THEN (acceptance is high)
(27) IF (cost is expensive) AND (resources is plenty) AND (impact is high) THEN (acceptance is very high)

Base de Regras do Modelo de Inferência Fuzzy

Numero da Regra	Custos	Tempo	Recursos	Impacto	Aceptance level(*)
1	cheap	instante t	scarse	low	very low
2	cheap	instante t	scarse	medium	low
3	cheap	instante t	scarse	high	moderate
4	not so cheap	instante t	scarse	low	low
5	not so cheap	instante t	scarse	medium	moderate
6	not so cheap	instante t	scarse	high	high
7	expensive	instante t	scarse	low	very low
8	expensive	instante t	scarse	medium	low
9	expensive	instante t	scarse	high	moderate
10	cheap	instante t	average	low	low
11	cheap	instante t	average	medium	moderate
12	cheap	instante t	average	high	high
13	not so cheap	instante t	average	low	moderate
14	not so cheap	instante t	average	medium	high
15	not so cheap	instante t	average	high	very high
16	expensive	instante t	average	low	low
17	expensive	instante t	average	medium	moderate
18	expensive	instante t	average	high	high
19	cheap	instante t	plenty	low	moderate
20	cheap	instante t	plenty	medium	high
21	cheap	instante t	plenty	high	very high
22	not so cheap	instante t	plenty	low	high
23	not so cheap	instante t	plenty	medium	very high
24	not so cheap	instante t	plenty	high	highest
25	expensive	instante t	plenty	low	moderate
26	expensive	instante t	plenty	medium	high
27	expensive	instante t	plenty	high	very high

ANEXO III:

Acções de resposta ao risco nas varias áreas com risco associado no desenvolvimento do novo produto DoubleSun's®

Risk:	Idea alignment with market needs					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Market research	Implement feedback systems	Outsourcing				
Concurrent analysis						
Surveys						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
Create new markets						
<hr/>						
Risk:	Product specification require to meet costumer’s need					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Concept testing using renderings or user-interface prototypes	Implement feedback systems					
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
<hr/>						
Risk:	Definition of market opportunities					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Market research						
Implement Marketing-mix						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
Realization of ANSOFF matrix	Periodic realization of market analysis					
Implementation of powders-sales service						

Risk:	Distribution channels					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Partner's	Periodic evaluation of the distribution channels					
Competitor's analysis						
Carry out a logistic analysis						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
	Differentiation					
Risk:	Competitive market					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Implement Porter's five forces model	Realize periodically SWOT analysis					
Perform a SWOT analyze						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
	Competitive advantage					
Risk:	Price establishment of the product					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Benchmarking						
Sales forecasting						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
	Quality/price ratio					
Risk:	Changing market conditions					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Implement prevision techniques	Periodic market research					
Implement marketing-mix						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
New market opportunities						

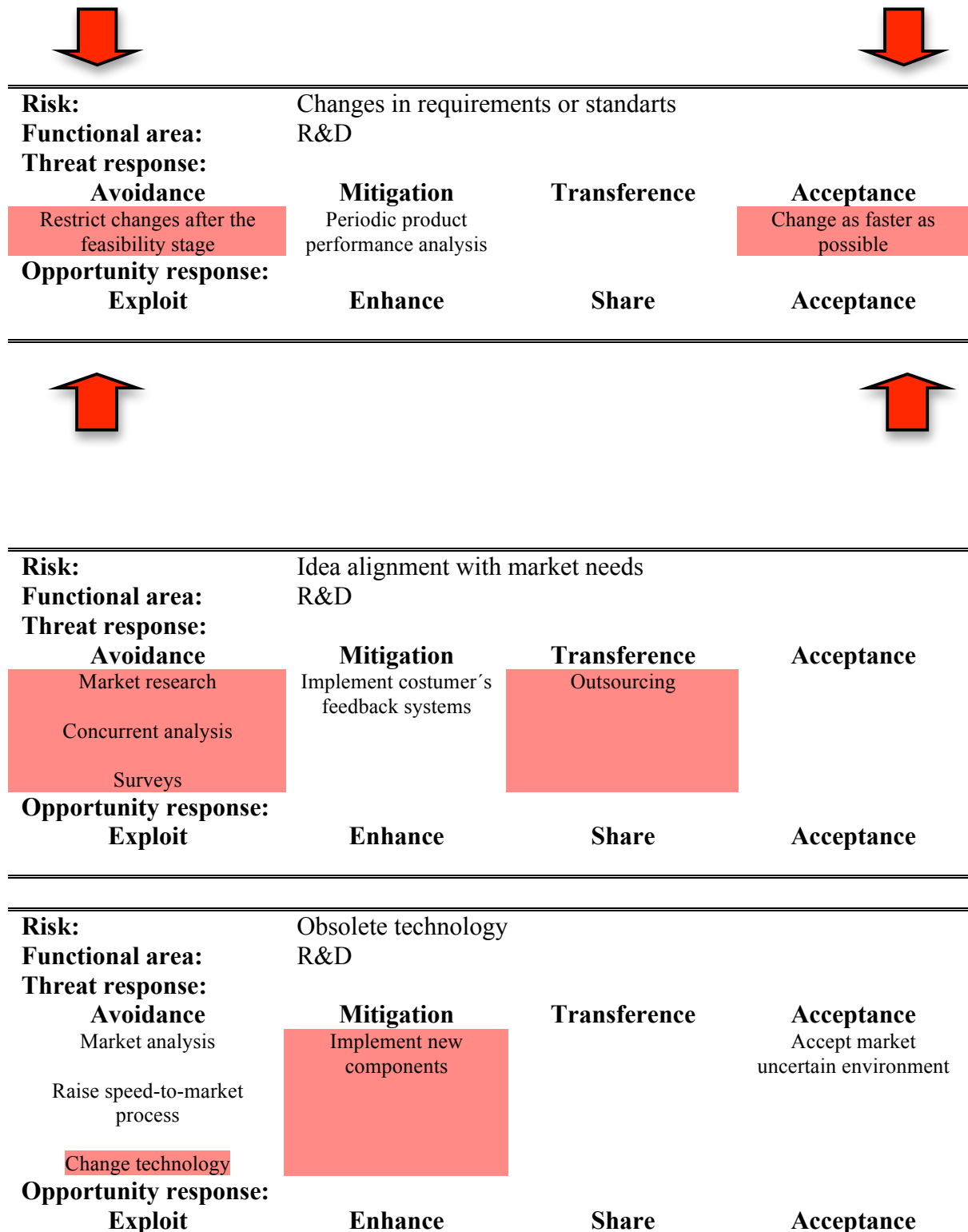
Risk:	Business strategy					
Functional area:	Marketing					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Realize business plan						
Develop balance scorecard						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
	Differentiation					
Risk:	Technical specifications					
Functional area:	R&D					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Strong documentation	Implement feedback systems					
Standard conceptualizations	Potentiate communication between stakeholders					
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
Risk:	New technology					
Functional area:	R&D					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Combining proven technology	Analysis of performance					
Realization of specific tests	Raise resources					
Consult expert professionals						
Create multiple solutions						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
	Level of innovation					

Risk:	Technical testing		
Functional area:	R&D		
Threat response:			
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance
Defining requirements and procedures	Periodic feedback meetings		
Incorporate time testing in project schedule			
Infrastructure managers of resources			
Opportunity response:			
Exploit	Enhance	Share	Acceptance
Material certifications			
Risk:	Product viability		
Functional area:	R&D		
Threat response:			
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance
Definition of the cost and price target	Replace components		
	Implement new components		
Opportunity response:			
Exploit	Enhance	Share	Acceptance
Quality and performance differentiation			
Risk:	Resources needed after installation		
Functional area:	R&D		
Threat response:			
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance
Testing the product using renderings or user-interface prototypes	Plan product maintenance	Maintenance contracts	
Laboratory tests			
Specify technical requirements			
Opportunity response:			
Exploit	Enhance	Share	Acceptance
	Enterprise's image		

Risk:	Application with existent technology			
Functional area:	R&D			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Utilization of proven technologies				
Realization of specific tests				
Material certifications				
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
Utilization of technologies which are commercialized for an interesting number of companies	Utilization of proven technologies			

Risk:	Enterprise's resources			
Functional area:	R&D			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Quantify the resources needed for the WBS	Periodic evaluate resource's performance	Create partnerships	Accept limitations	
Raise resource's budget	Periodic realize market analysis			
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
	Forming and training personnel			

Risk:	Product dimensions			
Functional area:	R&D			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Analysis of all product applications	Potentiate communication between R&D and Marketing			
3D documentation				
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
Several possibilities of application	Product's image			



Risk:	Components sensibility			
Functional area:	R&D			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Replace components	Field tests	Restrict company's responsibilities in contracts	Implementation of a maintenance plan	
	Implement adequate work equipment			
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
Risk:	Technical capability to correspond to market needs			
Functional area:	R&D			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Recruit expert professionals	Forming and training professionals	Outsourcing		
Raise company's resources				
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
	Technical level of innovation			
Risk:	Product protection			
Functional area:	R&D			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Copyright and patenting				
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
	Competitive advantage			
Risk:	Suppliers			
Functional area:	Production			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Implementation of quality assurance task forces	Identify dependent activities	Definition of the responsibilities in a contract		
Application of penalties	Periodically measure the partner's productivity and efficacy			
Multiple suppliers	Organization of meetings			
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
	Supplier's condition			

Risk:	Product system performance			
Functional area:	Production			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Identify dependent activities	Replace defaulting components			
Utilization of proven technology	Implement quality procedures			
	Realization of specific tests			
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
	High product performance			

Risk:	Product quality			
Functional area:	Production			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Use components with quality certifications	Measure customer satisfaction			
Implement procedures	Realization of specific tests			
Auditioning				
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
Quality certification	Enterprise’s image			

Risk:	Assembly line			
Functional area:	Production			
Contingent response strategy:	Realize a production plan Specify production procedures			

Risk:	Schedule expectations			
Functional area:	Management			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Reinforce the NPDT with new members	Reassigning the focus of work	Found outside expertise		
Organization of meetings	Prioritize work objectives			
Implementing milestones				
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
	Implementation of procedures			

Risk:	Development partners			
Functional area:	Management			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Implementation of quality assurance task forces	Periodically measure the partner’s productivity and efficacy	Definition of the responsibilities in a contract		
Strong standard procedures				
Define milestones	Organization of meetings or conferences			
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	

Risk:	Availability of skilled staff			
Functional area:	Management			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Recruit expert personnel	Potentiate communication	Consulting experts		
Define NPDT members roles	Evaluate personnel performance			
Management support				
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
Resources	Work environment			

Risk:	Changes in requirements or standards			
Functional area:	Quality			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Restrict changes after the feasibility stage	Periodic product performance analysis		Change as faster as possible	
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	

Risk:	Inadequate documentation			
Functional area:	Quality			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Develop document templates	Document all activities			
Documentation done by experts	Flowcharting the process			
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	

Risk:	Policies					
Functional area:	Quality					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Issue identification	Forming personnel	Consultation of experts				
Policy quantitative and qualitative analysis						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			

Risk:	Partnerships					
Functional area:	Management					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Implementation of quality assurance task forces	Periodically measure the partner’s productivity and efficacy	Definition of the responsibilities in a contract				
Strong standard procedures	Organization of meetings or conferences					
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
Future partner’s relationship	Communication					
	Enterprise’s image					

Risk:	Inadequate project experience					
Functional area:	Management					
Threat response:						
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance			
Recruit senior professionals			Redefining schedule			
Realize benchmarking analysis						
Opportunity response:						
Exploit	Enhance	Share	Acceptance			
	Effective work					

Risk:	Team work			
Functional area:	Management			
Threat response:				
Avoidance	Mitigation	Transference	Acceptance	
Provide high level of support	Organizing meetings			
Recruit senior and junior professionals	Quality evaluation of members			
Organizing team buildings	Decentralization structure			
Opportunity response:				
Exploit	Enhance	Share	Acceptance	
	Communication			
	Good working environment			